

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE BELLAS ARTES



TESIS DOCTORAL

De la holografía a la imagen virtual. Tecnologías de representación
tridimensional y manifestaciones artísticas en el siglo XXI

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

M^a Teresa Barranco Crespo

Directores

Jaime Munárriz Ortiz
Carmen Hidalgo de Cisneros Wilckens

Madrid, 2018

TESIS DOCTORAL

DE LA HOLOGRAFÍA A LA IMAGEN VIRTUAL

TECNOLOGÍAS DE REPRESENTACIÓN
TRIDIMENSIONAL Y MANIFESTACIONES
ARTÍSTICAS EN EL SIGLO XXI

**MEMORIA PARA OPTAR
AL GRADO DE DOCTOR
PRESENTADA POR**

M^aTeresa Barranco Crespo

DIRECTORES

Jaime Munárriz Ortiz
Carmen Hidalgo de Cisneros
Wilckens



**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE BELLAS ARTES**

Madrid, 2017

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE BELLAS ARTES

De la holografía a la imagen virtual. Tecnologías de representación tridimensional y manifestaciones artísticas en el siglo XXI

TESIS DOCTORAL

M^aTeresa Barranco Crespo

DIRECTORES

Jaime Munárriz Ortiz

Carmen Hidalgo de Cisneros Wilckens

Madrid, 2017

A mi madre por haberme brindado su
apoyo moral, constante e incondicional.

Agradecimientos

Después de este largo caminar, quiero dar las gracias a todas las personas que se han implicado en esta Tesis. Sin su participación, hubiera sido imposible ponerle el punto final.

Primero, a mi hermana, por estar cuando más lo he necesitado.

También quiero expresar mi gratitud a mi Directora Carmen Hidalgo de Cisneros por su esfuerzo y dedicación. Su orientación ha sido fundamental para mi formación como investigadora. De la misma manera, quiero agradecer a Jaime Munárriz, no sólo por aceptarme, sino por lanzarme a estos fascinantes mundos tridimensionales.

Además, desde mi más profunda admiración, quiero dar las gracias a la Dr. Rocío García Robles por sus aportaciones que han sido clave para abordar esta Tesis.

No puedo olvidarme de Mari Nieves por enriquecerme con sus enseñanzas. Su instrucción en este arduo trabajo ha significado el surgimiento de una sólida amistad.

Y por último, a Nieves Torralba y Pepe Buitrago por abrirme puertas que estaban cerradas y contribuir a mi conocimiento.

Índice

Resumen	13
Abstract.....	17
0. Introducción. De iniciación y planteamiento de la investigación	21
0.1 Planteamiento General	22
0.2 Hipótesis.....	24
0.3 Resumen del marco teórico	26
0.4 Resumen de la metodología empleada.....	26
0.5 Génesis del proyecto y relevancia social de su objeto de estudio	27
0.6 Exordio a modo de introducción.....	29
1. Estudio de la vida tecnológica en la sociedad contemporánea	35
1.1 La generación y control de la tecnología en el actual proceso de globalización y la destrucción creativa	38
1.2. La economía compartida en el seno del nuevo capitalismo	44
1.2.1 La obsolescencia programada.....	47
1.2.2 Albert Cañigueral: un punto de inflexión en la manera de entender la sociedad.....	52
1.3. Los efectos de la transformación de la tecnología sobre la sociedad. Un nuevo modelo social	55

1.4 La transformación de la tecnología en la comunicación. El almacenamiento de la documentación	59
1.5 La tendencia al aislamiento. Los hikikomori y la crisis de identidad en la sociedad tecnológica	68
1.6 Reflexiones sobre las tecnologías de representación tridimensional en la sociedad contemporánea y en los medios de comunicación.....	76
2. Historia y evolución de la imagen tridimensional	79
2.1 La imagen tridimensional: el efecto de profundidad en el arte.....	84
2.3 Conceptos básicos de la percepción visual	126
2.4 Métodos de visionado tridimensional.....	131
2.4.1 <i>Freeviewing</i> y el autoestereograma	131
2.4.2 Sistemas de visionado óptico-mecánico.....	146
2.4.3 Sistemas de visionado electrónico.....	156
2.6 Los mundos inmersivos del hombre: el sueño tangible	180
3. Investigación y desarrollo de las tecnologías tridimensionales.....	185
3.2. De la holografía analógica a la holografía digital	187
3.2.0 Planteamiento a modo de introducción	187
3.2.1 La holografía analógica: definición y fundamentos	190
3.2.2 Funcionamiento de la holografía analógica.....	194
3.2.3 Montaje de estudio holográfico óptico	200
3.2.4 Historia de la Holografía	208
3.2.5 La Holografía Digital. Técnicas de simulación.....	216
3.2.6 Aplicaciones de la holografía digital	220
3.2.7 Sobre los dispositivos de proyección con visualización volumétrica en movimiento.	226
3.3 La Realidad Virtual	237
3.3.1 Definición de la Realidad Virtual.....	237

3.3.2 El entorno virtual y la Realidad Aumentada como aplicación social	239
3.3.3 La Realidad Aumentada.....	244
3.3.4 El lienzo digital: sobre el funcionamiento de los <i>software</i>	251
3.3.5 Arquitectura gráfica: lenguajes informáticos en la geometría de los objetos	260
3.4. Del elemento gráfico virtual a la producción 3D	270
3.4.1. Prolegómenos a las impresoras 3D domésticas	270
3.4.2 Características que definen a una impresora 3D	274
3.4.3 Familias de impresoras 3D	278
3.4.4 Aplicaciones	282
3.4.5 Las materias primas en la impresión 3D.....	287
3.4.6 Técnicas de acabado. El post-procesamiento.....	291
4. Precedentes de la holografía en la práctica artística	295
4.1 Contextualización histórica de la holografía artística: simbiosis entre ambos mundos	297
4.2 Revisión de artistas de reconocido prestigio y su acercamiento al uso del medio holográfico.	303
4.3 Relación simbiótica entre la holografía y el arte	310
4.4 Los primeros hológrafos-artistas internacionales	314
4.5 Coleccionismo, conservación y exhibición de los hologramas	324
4.6 Diferentes tipos y técnicas de holografía empleados por artistas	336
5. Contexto de la creación artística en el siglo XXI y la herencia de la holografía en el arte.....	355
5.1 Hológrafos experimentales en el ámbito artístico. Desde los años 70 hasta 2017.	358
5.2 Esculturas de luz como elemento esencial de la creación "holográfica".....	366
5.3 Breve análisis sobre el contexto de la creación artística en el siglo XXI.....	373
5.3.1 La Realidad Virtual como estética de la simulación.....	379
5.3.2 El Fotorrealismo en el Arte digital.....	384

6. El museo holográfico y virtual: sistemas tecnológicos	391
6.1 El Museo Virtual.....	396
6.2 La difusión del museo en las arquitecturas digitales	399
6.3 Tecnologías de exhibición para la Realidad Aumentada y la Holografía.....	403
Conclusiones.....	414
Conclusions	422
Bibliografía	430
Anexos. Experiencia técnica	445
I.I Creación de un par estereoscópico	446
I.II Tipos de efectos lenticulares.....	455
I.III Procedimiento experimental de hologramas de reflexión y de transmisión	467
I.IV Como hacer una proyección “holográfica” casera	476
I.V En qué consiste una instalación de <i>video mapping</i>	477
Anexos. Investigación personal de las técnicas.....	481
II.I Proceso de fabricación digital en el Medialab-Prado: Conociendo las Impresoras 3D.....	482
II.II Los Hacedores: Taller de Introducción al prototipado rápido utilizando impresión 3D	489
II.III Entrevista a Nieves Torralba	501
II. IV El estudio holográfico de Pepe Buitrago.....	505
II.V Eventos y espacios participativos	512
Índice de ilustraciones.....	519
Glosario	523

Resumen

La presente Tesis ofrece una revisión histórico-tecnológica de las técnicas de representación tridimensional y presta especial atención a la holografía y a sus posibilidades creativas y artísticas, desde los años 70 hasta nuestros días.

La Tesis destaca el valor cultural de las imágenes tridimensionales y profundiza, tanto en su potencial, como en su continuo proceso evolutivo, proceso que traspasa los aspectos meramente técnicos y formales y se expande hacia otros campos de estudio y de reflexión.

El primer capítulo presenta una visión de la sociedad contemporánea y estudia los efectos de la globalización, la interacción de la economía compartida y la constante innovación tecnológica, en concreto, el desarrollo de las tecnologías de la información y la comunicación.

La representación tridimensional se introdujo en la sociedad a partir de la búsqueda de sistemas de reproducción y multiplicación de imágenes y desde su relación con el ocio y la cinematografía. Hoy en día se pretende incorporar a las telecomunicaciones. El segundo capítulo presenta el estudio histórico del efecto y el impacto de la profundidad en el arte y comprende desde la perspectiva hasta los sistemas de visionado electrónico, como las gafas activas o los cascos de Realidad Virtual.

Ante el elevado número y la diversidad de sistemas de representación, es importante que se muestren los conceptos básicos de la percepción visual con la finalidad de comprender la capacidad que posee el ojo para interpretar nuestro entorno. Sin abandonar este marco histórico, también se tratan obras literarias de ciencia ficción y otros géneros que, de forma metafórica, introducen en el acto de la lectura una

forma de recrear mundos inmersivos.

El tercer capítulo, comprende el estudio de la holografía y la Realidad Virtual como ejes centrales de la investigación, incluyendo también la Realidad Aumentada. Comienza con la invención y el funcionamiento de la holografía analógica, y se detallan a continuación los recursos materiales necesarios para poder confeccionar un holograma óptico. En este mismo capítulo, se desarrolla el tema de los métodos de procesamiento digital en la holografía y las bases de la proyección directa de una imagen tridimensional. La parte dedicada a la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada incluye sus respectivas definiciones y el detalle de sus características, define su utilidad en campos como la educación, la publicidad y el marketing y describe su contribución a la apertura de nuevas vías de expresión y de otras narrativas.

Los lenguajes informáticos tienen gran importancia en los entornos virtuales, por este motivo, se ha procedido a explicar cómo pueden recrearse las imágenes tridimensionales a partir de las geometrías y la subdivisión de superficies en el proceso de modelado. Además, se realiza un estudio que profundiza en el funcionamiento y evolución del software, desde los años 60 hasta nuestros días.

En el cuarto capítulo, se procede a una contextualización histórica sobre los precedentes de la holografía artística. En sus primeros pasos, la holografía es el resultado de una estrecha relación simbiótica entre las ciencias y el arte. Se analiza el momento en que los artistas, para llegar a ella, tienen que afrontar una serie de retos. En paralelo, se revisan una serie de artistas de reconocido prestigio que tuvieron que colaborar con científicos y tecnólogos para realizar incursiones puntuales en el medio. Además, se muestra cómo el coleccionismo de obras holográficas y las instituciones museísticas y de investigación tuvieron gran importancia para la preservación del medio holográfico. Para finalizar este capítulo, se incluye una breve descripción de los diferentes tipos de técnicas holográficas de carácter analógico que se han empleado en la práctica artística, mostrando un ejemplo de obra para cada uno de ellos.

En el quinto capítulo se ha realizado un análisis sobre los aspectos físicos de la holografía y sobre cómo confluyen en la obra artística. También se habla sobre la luz como elemento esencial en la generación de ciertas obras, como las de carácter cinético basadas en el procesamiento digital, muy empleadas en la actualidad. De igual

forma, se muestra la interrelación análoga que se establece con las obras holográficas. Por último, en el sexto capítulo se alude a la importancia que podrían tener la holografía óptica y la vídeo-proyección en la actividad museística, debido a sus cualidades tridimensionales, que les permiten ser un soporte de apoyo.

Tras estudiar todas las tecnologías tridimensionales que se han tratado en estos capítulos, se comprende que los causantes de este impulso tecnológico siempre han sido la ciencia ficción y la literatura, ya que el complejo funcional de estos sistemas se basan en técnicas tradicionales como la estereoscopía, aunque con la ayuda de los software, los proyectores de instalación y las técnicas de captura de movimiento han permitido alimentar esta búsqueda por conseguir la volumetría suspendida en el aire y el fotorrealismo.

Abstract

This thesis offers a technological and historical review of tridimensional representation techniques, paying special attention to holography and its creative and artistic potentials from the 70's to the present day.

The thesis highlights the 3D image's cultural value and studies in depth both its potential and its constant development, which goes beyond mere technical and formal aspects and spreads towards other fields of study.

The first chapter presents an overview of our contemporary society and studies the effects of globalization, shared economy and the constant technological innovations, specially the development of communication technologies.

Tridimensional representation was introduced in our society thanks to the search of reproduction and image multiplication systems and its relationship with leisure and cinematography. Today it is to be included in telecommunication systems.

The second chapter presents the diachronic study of the impact that depth has on art, from the use of perspective to that of electronic visual systems, such as active glasses and Virtual Reality helmets.

Given the overwhelming number and diversity of representation systems, it is crucial to show the basic concepts of visual perception in order to understand the human eye's capacity to interpret our surroundings. This historical panorama also includes science-fiction literature and related genres, since they introduce, in a metaphoric way, new means to recreate immersive worlds.

The third chapter addresses holography and Virtual Reality as the central topics of this study, also including Augmented Reality. Firstly it explains how analogue

holography was invented and how it works, then it outlines the resources required to create an optic hologram. This chapter also deals with digital processing methods and the basis of tridimensional-image direct-projections.

The pages devoted to Virtual Reality and Augmented Reality include their respective definitions and a detailed description of their characteristics; here it is also explained how these techniques contribute to fields such as education, publicity and marketing, as well as to the opening of new narratives and new expression forms.

Computer languages are very important within the virtual world; this is why it is explicated how 3D images are created from geometry and surface divisions during the shaping process. Furthermore, a careful study of software functioning and evolution from the 60's is provided.

The fourth chapter expounds the historical context of the holography's artistic precedents. During its first period, holography is the result of a close symbiotic relation between art and science. This chapter analyses the moment when artists had to overcome a number of challenges in order to reach this new technique. Likewise, it presents a series of well-known artists who had to cooperate with scientists and technologists in order to make punctual incursions into the field.

Moreover it is shown how holographic collections, museums and research centers played a central role in preserving these works. The chapter finishes with a brief description of the wide range of analogue holographic techniques that have been used in art, each of them accompanied by an illustrative art piece.

The fifth chapter analyses the physical aspects of holography and how they converge in the art work. It also addresses light as an essential element to create certain works, such as the kinetic ones, based on digital processing, which have become very popular nowadays. Likewise, the relationship established with holography is shown.

To finish, the sixth chapter deals with the importance that optic holography and video projection could have in the future for museum activities due to their tridimensional qualities as supportive tools.

After having studied the 3D technologies addressed in the previous chapters, we consider that the forces stimulating this technological advances have always been literature and science fiction, since the complex functioning of these systems is

based on traditional techniques such as stereoscopy although, thanks to software, installation projectors and motion capture techniques have encouraged this attempt to reach photorealism and free-space holograms.

Capítulo 0

Introducción. Definición y planteamiento de la investigación

0.1 Planteamiento General

Esta investigación trata de explorar cómo influyen las tecnologías tridimensionales en la creación gráfica y audiovisual y hace especial hincapié en su desarrollo técnico y su recorrido histórico. Pretende demostrar el potencial inédito que llegan a desarrollar no sólo durante el proceso creativo, sino desde la interrelación con el espectador. La investigación responde a una serie de objetivos generales y específicos que se detallan a continuación:

Objetivos generales:

Estudiar las tecnologías de representación tridimensional desde el punto de vista del arte.

Analizar su evolución cronológica y su dimensión artística, describiendo y recopilando sus antecedentes (perspectiva, estereoscopía, anaglifos, holografía, Realidad Virtual, Realidad Aumentada).

Describir su influencia en los dispositivos actuales así como sus posibilidades creativas.

Definir y defender el papel de la holografía como recurso artístico del siglo XXI.

Objetivos específicos:

Analizar los sistemas tridimensionales, tomando como ejes centrales la holografía, la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada.

Plantear un análisis de los registros holográficos, tanto físicos como digitales.

Proponer una respuesta alternativa en la actividad artística holográfica actual desde la contribución de otras técnicas, como pueden ser los sistemas de proyección tridimensional, que suscitan un gran interés en el presente.

Demostrar el aumento en la utilización de las técnicas holográficas vinculadas especialmente a la informática digital y fomentar una nueva cultura reconocedora de las potencialidades que se desprenden de la misma.

Favorecer la reflexión individual y colectiva sobre el funcionamiento de las

tecnologías tridimensionales y el potencial de las mismas.

Presentar, puntualizar y matizar los “mitos tecnológicos” que se desprenden de la Literatura y la Ciencia Ficción y su visión de un mundo futuro imaginario.

Evaluar los planteamientos estéticos que se han establecido en el ámbito artístico derivados del uso de las tecnologías de imagen tridimensional.

Esta tesis doctoral se articula dentro de un marco teórico trazado a partir de estudios ya existentes, realizados en torno al potencial de las tecnologías tridimensionales. Pretende reflexionar sobre la holografía y la Realidad Virtual como medios de expresión artística y analiza las relaciones de estas técnicas con la práctica artística.

En cuanto a la metodología, se ha llevado a cabo una búsqueda de fuentes bibliográficas relevantes en bibliotecas públicas y privadas, en centros especializados y en la red y se ha realizado un análisis pormenorizado de las mismas. Las visitas a diferentes centros, las entrevistas a especialistas en las materias tratadas y las prácticas en talleres y laboratorios han completado y enriquecido la recogida y el tratamiento de la documentación dando resultados interesantes.

La presente investigación abarca tanto el estudio desde el ámbito puramente tecnológico como una reflexión sobre la dimensión artística de estas técnicas visuales a lo largo de la historia y sobre el grado de su presencia en el momento actual.

El marco teórico se configura a través de una serie de capítulos que analizan la evolución cronológica de las distintas tecnologías tridimensionales y su influencia en la actualidad y se detienen en investigaciones más significativas que centran el análisis de las técnicas holográficas en su evolución y en el empleo de los distintos términos que aluden al fenómeno holográfico en función de las tendencias y de los diferentes contextos de su uso. El contenido presentado permite alcanzar una mayor comprensión de sus alternativas para la creación artística y lleva a la defensa de su gran valor y su potencial, cuestionando su vigencia como medio de expresión.

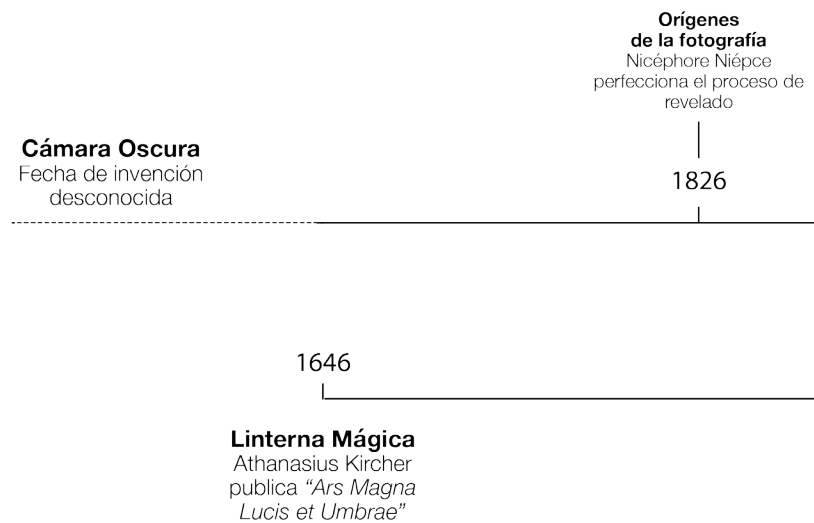


Fig. 1 Análisis cronológico de la imagen tridimensional.

0.2 Hipótesis

Llevar a cabo un análisis cronológico de las técnicas de representación tridimensional desde la perspectiva de la historia del arte, atendiendo a los medios empleados, las obras y los autores, será el hilo conductor de este trabajo de investigación. La hipótesis central que se desarrollará a lo largo de estas páginas es que el concepto de la holografía ha cambiado significativamente, alejándose paulatinamente de su dimensión artística e inclinándose, en consecuencia, hacia una forma puramente tecnológica en la que lo artístico tiene cada vez menos cabida. Sin embargo, desde estas líneas, se desea recuperar y fomentar la práctica con el medio holográfico como recurso artístico del siglo XXI. A su vez, se pretende demostrar la estrecha relación entre la conformación de los registros holográficos actuales y las técnicas audiovisuales basadas en el procesamiento digital.

Por ello y partiendo de esta hipótesis, este trabajo de investigación presenta una revisión histórica, realiza un análisis de distintas obras artísticas e incluye un glosario que amplía las definiciones terminológicas, sin perder de vista el objetivo de explorar



los aspectos esenciales de la estética tridimensional y del arte interactivo y considerar las distintas vías que quedan abiertas en el camino del artista.

Por otra parte, la filosofía de la tecnología moderna muestra una serie de características que distan mucho de los requisitos de la holografía digital para construir una imagen 3D. Al ser un sistema muy aparatoso, precisa de mucho espacio, lo que no favorece su comercialización. Sin embargo, son muchos los expertos en la materia que pronostican una importante evolución a corto plazo de las tecnologías de proyección con capacidad de enfocar cada punto de la imagen o escena a la distancia focal deseada. Todos estos avances se ven motivados por el creciente interés tanto de la industria del cine como la de los videojuegos. El acceso a estas técnicas será crucial para impulsar la imaginación y la creatividad y desarrollar nuevas formas de expresión.

0.3 Resumen del marco teórico

La base del marco teórico está conformada por el estudio cronológico, la investigación y la posterior evaluación de los sistemas de representación tridimensional. Se profundiza, así pues, en un contexto histórico que abarca desde la holografía analógica hasta la actualidad. Con la finalidad de comprender los actuales sistemas digitales y tridimensionales, nos detendremos en el estudio de importantes precedentes históricos, entre los que destacan los sistemas estereoscópicos (como el anaglifo o el sistema lenticular), basados en técnicas de fotografía tridimensional.

El marco teórico se cierra con un análisis de las expresiones artísticas empleadas durante el siglo XXI, cuyo objetivo principal ha sido el de crear imágenes tridimensionales a través de la confluencia de diferentes disciplinas tecnológicas.

0.4 Resumen de la metodología empleada

La metodología constituye una propuesta para analizar los métodos de representación tridimensional de todos los tiempos, evaluándolos como una herramienta de expresión artística tras la que subyacen múltiples posibilidades. Se ha procedido al análisis de los mecanismos de las nuevas tecnologías a partir del conocimiento y las materias ya asentadas en las prácticas de representación tridimensional.

El estudio y análisis de la información recogida en publicaciones, artículos, monografías, entrevistas, exposiciones, seminarios, prácticas, talleres y otras fuentes han sido imprescindibles para llevar a cabo la investigación y obtener resultados actualizados sobre cómo las tecnologías influyen en la actividad artística y cuáles son sus implicaciones en la sociedad contemporánea del siglo XXI.

0.5 Génesis del proyecto y relevancia social de su objeto de estudio

Este trabajo surge de la inquietud personal por el amplio repertorio de las tecnologías de generación y tratamiento de la imagen tridimensional, del interés por la especie de metamorfosis que se produce en el artista holográfico al pasar del pincel al píxel y de las consecuencias, también sociales, que se derivan de los avances tecnológicos en el terreno de la representación tridimensional.

Desde un primer momento se harán patentes en las líneas que conforman este estudio, los rasgos generales de la materialización del citado cambio y de su relación con los efectos de la tecnología sobre la globalización, y viceversa. El fin último de la globalización viene estipulado, en gran medida, por los ciclos económicos que van marcando el devenir del mercado a nivel mundial. Por ello, no es de extrañar que, por su parte, la globalización económica venga señalada por la explotación de los recursos tecnológicos llevados a cabo por las grandes empresas. En todo caso, la globalización económica depende también, en gran medida, del desarrollo tecnológico, obteniéndose así como resultado, un cambio no solo en la ideología, sino también en la cultura y en la sociedad.

No obstante, desde las líneas de esta Tesis abordamos el estudio de la holografía desde la óptica del proceso de renovación tecnológica. Como añadido, también se procede al análisis de la imagen tridimensional como fenómeno que forma parte del proceso de desmaterialización de las industrias, al que se viene asistiendo desde los años 70 gracias a las tecnologías de la comunicación, entre las que se incluye Internet.

Aunque, conforme a lo expuesto, esto no sea siempre fácil de predecir, existen multitud de factores que determinan la conducta humana al producirse el nacimiento de una nueva tecnología. Se trata de un fenómeno social del que se deriva un cambio en el sistema cultural, y puede afectar al colectivo tanto en el presente como en el futuro, ya que el origen de una tecnología puede llegar a germinar en otras más complejas.

Cuando investigadores como Carr, N. (2011) detectan cambios provocados en el ser humano por el nacimiento de las nuevas tecnologías, entran en escena los estudios

sobre la forma en la que la persona va asimilando la información a través de internet. Así, por ejemplo, la facilidad con la que buscamos la información a través de Internet puede ir en detrimento de la memoria a largo plazo.

Aún así, a lo largo de este trabajo, asistiremos a la reflexión de pensadores como Suderman, P. (2009) que opinan, frente a Carr, que Internet favorece el uso de la memoria haciéndola trabajar a modo de índice, y capacitándola para buscar en la red justo lo que necesita y cuándo lo necesita, sin necesidad de almacenar todo su contenido.

Paralelamente, se reflexiona también sobre la sobreexposición de la imagen en la red y sus consecuencias sobre el ejercicio del pensamiento humano, es decir, se procede al análisis del rol de la imagen en detrimento de la palabra. Mas, como se analizará de forma detallada, conviene ser cautelosos con toda la información extraída de la red por el gran potencial de subjetividad que subyace tras ella.

Asistimos a una etapa de la vida caracterizada por la incertidumbre respecto a las distintas consecuencias que pueden traer las nuevas tecnologías, en la que las personas ignoran incluso hasta qué punto sus datos se encuentran desprotegidos ante las empresas que negocian con ellos.

Ahora bien, la transición de Internet hacia la confluencia de las tecnologías tridimensionales erigidas como vehículo configurador de la comunicación, supondrá una nueva transformación que afectará profundamente a nuestro desarrollo social y cultural. Las nuevas tecnologías, y entre ellas la imagen tridimensional, traerán consigo en el futuro, como han hecho siempre, beneficios y amenazas, debates con posturas a favor y posturas en contra. Es por ello que el presente estudio se centra en un análisis diacrónico de las técnicas de representación tridimensional, entendidas como forma de expresión artística y como fenómeno tecnológico, que permite comprender la situación a la que se ha llegado en la actualidad y aventurar, así mismo, las distintas posibilidades que estas técnicas abrirán en un futuro, las consecuencias que acarrearán y, en definitiva, los cambios socio-culturales que pueden ocasionar.

0.6 Exordio a modo de introducción

Esta investigación aborda las principales características del fenómeno holográfico desde sus orígenes hasta la actualidad. Se destaca, así, de qué manera se han ido produciendo los cambios en la holografía y cómo afectan dichos cambios al mundo social y al estilo de vida de las personas.

La investigación requiere en todo momento de una visión técnica y, al mismo tiempo, cultural, social, psicológica y moral. Solamente teniendo en cuenta distintas perspectivas de manera conjunta, se podrá llegar a entender los resultados actuales del fenómeno holográfico.

En cualquier caso, los distintos estudios que arrojan luz sobre las antiguas y actuales técnicas holográficas aquí descritas, contribuyen al debate abierto de cómo las relaciones sociales vienen determinadas, en gran medida, por los avances tecnológicos y los nuevos modelos de comunicación. En este sentido, la proporción de personas que ya forman parte de la red, comienzan a moldear una nueva visión de identidad a través de iconos, perfiles o palabras que transmiten información de la persona que se oculta tras ellas.

En este contexto el artista se amolda a los medios de los que dispone. Por ello, es necesario recordar que antes, a diferencia de lo que sucede ahora, los medios holográficos y los primeros soportes lógicos se concentraban exclusivamente en los laboratorios.

Sin embargo, hoy en día, ha cambiado en gran medida el acceso a los medios gracias a la implantación y globalización tecnológica, que ha permitido a los artistas actuales crear sus obras. En este aspecto, señalamos que no todos los medios presentan el mismo grado de accesibilidad, pues la holografía física y digital siguen permaneciendo en lugares ocultos, si bien pueden ser elaborados si se diseña un espacio previo.

Así pues, los esfuerzos por describir detalladamente el control de la luz presente en la holografía; el procesado óptico holográfico o estereograma; la ilusión gráfica que se obtiene al representar la tercera dimensión; el efecto de profundidad en el arte;

el estudio dimensional de esta técnica; las percepciones en el campo de la creación plástica y, en definitiva, los hitos técnicos holográficos más representativos desde el punto de vista diacrónico, nos conducen al cumplimiento del objetivo de obtener una visión clara y concisa acerca de la evolución de los sistemas de representación tridimensional.

Las investigaciones consultadas coinciden en que, desde los orígenes, uno de los aspectos más importantes de la holografía es la observación angular de la imagen y la ilusión óptica consecuente de la misma. Por ello, para un correcto manejo de las técnicas holográficas o de la imagen tridimensional se hace necesario un buen conocimiento del sistema ocular.

Sin embargo, desde que el hombre comenzó a plasmar plásticamente su entorno, la representación tridimensional ha rivalizado consigo misma, intentando parecerse cada vez más a la auténtica realidad. El artista de cada época ha investigado cómo avanzar en el campo de la tridimensionalidad, aun antes del desarrollo tecnológico y de la era de los laboratorios de imagen.

Así pues, el análisis de obras holográficas desarrollado en esas páginas hace hincapié en cómo, desde un primer momento, se introdujo la perspectiva pictórica y en cómo, paulatinamente, estas técnicas pictóricas se fueron ligando a valores mas tradicionales como el coleccionismo, la preservación y la autenticidad, al tiempo que se fueron perfeccionando, no obstante, gracias a las innovaciones de distintos movimientos artísticos y creadores visionarios. Más adelante, con el avance de la tecnología, se forjó una interrelación entre los medios digitales y el arte que permitió un rápido desarrollo de otras técnicas, como las proyecciones volumétricas.

Tiempo atrás, era frecuente ver a las personas intentando tocar el holograma en las exposiciones holográficas para comprobar la autenticidad de lo que veían y familiarizarse así con lo que empezaban a percibir. Además, probaban a experimentar la dinámica visual en función del movimiento que efectuaban en torno al holograma,

algo que antes les era totalmente ajeno. Esto justifica que la única línea divisoria entre la realidad holográfica y la nuestra sea el cristal a través del cual debemos percibir el holograma.

Esto es algo que no se aleja de las instalaciones de nuestro presente a través de la Realidad Aumentada y los sistemas de proyección.

A todo ello se añade la creciente disposición por parte del artista de recursos gráficos, tanto analógicos como digitales. Esto explica, en gran medida, que la sociedad conciba la holografía como mera representación de la realidad, y en consecuencia, que se hayan difuminado los criterios artísticos que, a priori, pudieran estar presentes en ella.

Tanto la constante experimentación como el rendimiento tecnológico o comercial al que se ve sometida la obra holográfica invitan a la reflexión sobre la presencia o ausencia de valores artísticos en la obra.

En las últimas décadas, se ha observado la existencia de una cierta confusión entre la obra artística holográfica y la exhibición, cuyo único objetivo es comercial. Por este motivo, el presente estudio participa del debate sobre los criterios que distinguen a una obra artística de aquella que no lo es.

El hecho de que las tecnologías tengan un semblante tridimensional y puedan ser de fácil acceso, difumina los límites de lo artístico y da lugar a una pérdida de la carga simbólica de la obra en sí. Por eso es importante establecer las diferencias entre ambos fines, para no suscitar confusión en el espectador.

En cualquier caso, los artistas holográficos actuales se caracterizan por ser experimentales, ya tengan un fin comercial o artístico. Así pues, están dispuestos a usar cualquier tipo de medio siempre que este permita obtener la ilusión óptica que se persigue.

Con todo ello, se apreciará a lo largo de la tesis la evolución de los artistas holográficos. Uno de los aspectos más importantes de dicha evolución es el interés que prima en las obras holográficas actuales de carácter creativo colectivo.

El resultado de esta filosofía digital no es otro que la sucesión creativa de obras efímeras, licenciadas bajo el Open Code, donde el coleccionismo y la autenticidad se desvanecen frente a una creciente pluralidad en la autoría. Esto se debe a que la obra pasa a ser de carácter colectivo, de modo que los individuos participan, comparten e interactúan. La intención del autor que subyace a todo esto es la de realizar un estudio sociológico que le permita explorar los comportamientos sociales y obtener una respuesta o un resultado.

Como consecuencia de estos cambios en el arte contemporáneo, asistimos en la actualidad a una creciente versatilidad de las posibilidades de la holografía como expresión artística. Pero, en todo caso, el hecho de convertirla en una herramienta que abra nuevas posibilidades expresivas a la creatividad del artista sólo puede traer consecuencias positivas, siempre y cuando se evite hacer de ella un símbolo del efectismo.

De hecho, al valorar un holograma creativo es difícil conseguir el equilibrio entre la dimensión artística y la habilidad técnica, pues se trata de valoraciones cuya exposición siempre implica un alto nivel de subjetividad. Dichos valores han de ser medidos, si se quiere transmitir algo sin ambigüedad. Habría de eliminarse así la etiqueta de “arte de alta tecnología”, una falsa clasificación a la que se suele acudir con cierta facilidad y, en cualquier caso, debería evitarse la tendencia a seducir al espectador solo mediante el virtuosismo técnico del holograma. De hecho, una imagen holográfica valorada desde la dimensión artística puede carecer de ciertos requisitos técnicos.

En conclusión, para evaluar la obra holográfica desde el paradigma artístico resulta fundamental aumentar la actitud crítica y analítica por parte de la sociedad receptora, que debe ser capaz de analizar los medios de comunicación en términos visuales, y no exclusivamente en términos tecnológicos.

Capítulo 1

Estudio de la vida tecnológica en la sociedad contemporánea

El paso del pincel al *píxel* representa una transición, un cambio o, incluso, una metamorfosis que el artista ha experimentado gracias a los avances tecnológicos. Este cambio, sin embargo, no solo se ha materializado en la esfera artística, sino también en todos los otros ámbitos culturales de la humanidad, así como en los sociales, económicos y científicos. Uno de los aspectos más significativos del mercado mundial actual es la globalización de la tecnología, caracterizada por el consumo materialista de la misma, y que ha influido en la intercomunicación entre los países. Al dar lugar a una sociedad más interrelacionada, afecta a las formas de relación entre los individuos, así como en su forma de pensar y de actuar. El punto crítico de la convivencia entre dichos individuos en un mundo caracterizado por una economía globalizada depende del nivel de formación de su fuerza laboral, incluyendo sus capacidades tecnológicas.

1.1 La generación y control de la tecnología en el actual proceso de globalización y la destrucción creativa

Como escribió el filósofo escocés John Stuart Mill (1806-1873) en sus *Principios de economía política: con algunas de sus aplicaciones a la filosofía social* (1848) escribe “*Producir es mover*”, sin sospechar la importancia del desarrollo de las redes de comunicación y de transporte durante la segunda mitad del siglo XIX. Un periodo que muchos teóricos analizan como el momento crucial para la formación de la comunicación moderna y de circulación de los bienes y mensajes.

A la hora de plantearnos cuáles son los fenómenos que han marcado la rítmica del proceso innovador, se hace patente que los ciclos económicos son los que han estipulado el sistema globalizado que hoy conocemos.

La globalización es un proceso económico, tecnológico y social en el que se intercambia materia de cooperación entre los países del mundo, que unifican su cultura y sus mercados sin importar las características particulares de cada nación. Se trata de una expansión que ha transformado al mundo en un plano homogéneo.

El origen de la globalización tecnológica está relacionado con las migraciones de técnicos y científicos, aunque actualmente la mundialización de la explotación de los recursos tecnológicos por parte de las grandes empresas del sector juega un papel capital en este proceso de globalización. Por este motivo, se puede decir que la globalización de la tecnología es una transferencia o donación de esta llevada a cabo por instituciones y científicos de diversos países. Hoy en día, numerosas instituciones se han unido para avanzar en el desarrollo tecnológico, lo que ha sido analizado en las últimas décadas por parte científicos, ingenieros, economistas, sociólogos y escritores que, conscientes del gran valor de los cambios tecnológicos, han efectuado un estudio sobre las revoluciones científico-tecnológicas de siglos pasados. De esta manera, se ha reconocido que el conocimiento realmente conduce a la generación y difusión de la innovación tecnológica.



Fig. 3 Segunda Revolución tecnológica, fabricación de automóvil.

La **globalización económica**¹ es un proceso que comprende la difusión de los mercados financieros y del comercio basándose en estrategias comerciales e influencias políticas, las cuales dependen del desarrollo tecnológico para que el proceso globalizador sea más rápido y efectivo.

1. La instauración de libre mercado comienza, en 1860 Napoleón III firma el tratado de libre comercio anglo-francés sin la aprobación de las Cámaras y en 1849, Inglaterra renuncia a la Navigation act que desde 1660, confería el monopolio del comercio a los navíos y marinos ingleses.

En 1851, en Londres, la primera *Exposición Universal* significó el paso al libre intercambio. La idea que allí predominaba era que el intercambio libre e ilimitado de las mercancías entre las naciones contribuyó a la ventaja y a la riqueza del nuevo universalismo.

Esta oleada de desarrollo produce una reorganización de la estructura productiva (la utilización de nuevas máquinas implica la adaptación de la labor de los trabajadores), la transformación de las instituciones y un cambio en la ideología y en la cultura que puede alterar el paisaje geopolítico del planeta. Al mismo tiempo, plantea nuevas exigencias como las regulaciones de carácter mundial, los impuestos por los mercados internacionales, los acuerdos comerciales transnacionales (TTIP, CETA), etc.

Algunos autores procedentes de distintos campos de la literatura, la ciencia y la tecnología sostienen que este fenómeno hará que desaparezcan las fronteras entre las naciones con el tiempo y que nacerán instituciones políticas y económicas homogéneas, lo que identifican como un proceso producido principalmente por las sociedades que viven bajo el capitalismo democrático.

Thomas Kuhn (1922-1996), en su libro *La estructura de las revoluciones científicas* (1962: p.33), defiende que la historia de la ciencia se encuentra enmarcada en largos períodos de estabilidad interrumpidos, debido a la aceptación de las teorías legítimas que la comunidad científica considera obvias e incuestionables, sin que otras posturas puedan llegar a influir.

La Física de Aristóteles, el Almagesto de Tolomeo, los Principios y la óptica de Newton, la Electricidad de Franklin, la Química de Lavoisier y la Geología de Lyell —estas y muchas otras obras sirvieron implícitamente, durante cierto tiempo, para definir los problemas y métodos legítimos de un campo de la investigación para generaciones sucesivas de científicos. Estaban en condiciones de hacerlo así, debido a que compartían dos características esenciales. Su logro carecía suficientemente de precedentes como para haber podido atraer a un grupo duradero de partidarios, alejándolos de los aspectos de competencia de la actividad científica. Simultáneamente, eran lo bastante incompletas para dejar muchos problemas para ser resueltos por el redelimitado grupo de científicos.

Kuhn hace hincapié en que la posibilidad de cuestionar o rechazar los modelos fundamentales, ante anomalías que no pueden ser explicadas, ayuda a que la ciencia alcance todo su potencial, dando lugar a nuevas ideas.



Fig. 4 La UNIVAC I (Universidad Automatic Computer I, Computadora Automática Universal), fue diseñada por J. Presper Eckert y Jhon William Mauchly, fue el primer ordenador fabricado para un propósito no militar en 1941.

Por otro lado, las creaciones intelectuales han estado sujetas a las circunstancias políticas. El fin de la segunda Guerra Mundial dio inicio al conflicto político-militar de la Guerra Fría, que básicamente dividió al mundo en dos bloques: los alineados con los Estados Unidos y los alineados con la Unión Soviética. Durante este período, se produjo un gran desarrollo científico-tecnológico impulsado por las necesidades militares gracias a invenciones heredadas del conflicto bélico y a las que surgieron de la demanda del aparato militar: la industria nuclear, la carrera espacial, la biotecnología, la tecnología energética, las telecomunicaciones, la informática y la electrónica. La difusión y desarrollo de estos campos junto con la adquisición de nuevos conocimientos dio origen al que consideramos paradigma científico-tecnológico.

Una de las principales misiones del estado era proporcionar las estructuras e incentivos que estimulasen el progreso de los ciudadanos; sin embargo, la ciencia y la tecnología eran objetos tan contradictorios como el propio capital: aportaban vida y muerte a la vez.

Más tarde, el desarrollo de la informática propició el desencadenamiento de la globalización, que se consolidaba a partir de la década de 1980 con la aparición del ordenador personal.

A principios del siglo XXI, nace una sociedad basada en los cambios tecnológicos, que deben ser analizados dentro de su marco social, en el lugar en que realmente se desarrollan y utilizan las actividades de innovación. Así, es posible identificar a las fuerzas nacionales y globales que inciden en la conformación o moldeamiento del avance tecnológico de un país. Es decir, resulta crucial entender el contexto económico, social, político y geográfico en el que la innovación se genera y disemina para poder entender el cambio tecnológico y su interacción con el fenómeno de la globalización.

Así pues, el surgimiento de la innovación se presenta como un proceso de eliminación y reemplazo de aquellas tecnologías que han llegado a sus máximos niveles de saturación y regeneración. Este proceso de transformación se denominó ***destrucción creativa***² en 1934, y es generado por las fuerzas capitalistas.

Los procesos de renovación tecnológica se cimientan en un estudio estratégico y consecuente de la demanda social, y del mercado y la especulación, el cual impone sus propias leyes innovadoras para fabricar un producto genérico. Posteriormente, dichos procesos pasan por un momento de declive y llegan a agotar su potencialidad.

Cabe destacar, no obstante, que en la sociedad actual no sólo la demanda social propicia los cambios en el seno de una tecnología, sino que las propias multinacionales del sector crean una falsa percepción de necesidad en el usuario con respecto a sus propios

2. En economía, la “*destrucción creativa*” es un concepto atribuido al sociólogo alemán Werner Sombart (1863-1944) y popularizado por el economista austriaco Joseph Schumpeter (1883-1950) en su libro *Capitalismo, socialismo y democracia* (1942). Define el proceso de innovación que tiene lugar en una economía de mercado mediante el que los nuevos productos destruyen a viejas empresas y modelos de negocio. Para Schumpeter, las innovaciones de los emprendedores son la fuerza que hay detrás de un crecimiento económico sostenido a largo plazo pese a que puedan destruir el valor de compañías bien establecidas en el camino.



Fig. 5 Residuos de aparatos tecnológicos

productos innovadores. Un claro ejemplo es la empresa Apple, que logró reinventar productos que ya existían en el mercado haciendo que los consumidores piensen que jamás habían visto algo similar. Desde la puesta en escena de la presentación del producto, el diseño característico y el cuidado packaging, toda esta estrategia de venta cobra más relevancia que el propio proceso de fabricación del producto.

El efecto que la renovación tecnológica ejerce sobre la sociedad puede ser negativo o positivo. Un caso evidente de víctima de esta renovación son los países menos desarrollados, que quedan excluidos y, consecuentemente, tienen mayores tasas de analfabetismo, debido a que no tienen los medios suficientes para incorporarse a los nuevos procesos desarrolladores de conocimiento de los países del primer mundo. Es esta una manera de perpetuar una obsolescencia que acaba volviéndose crónica para los países menos favorecidos. Sin embargo, eso es menos alarmante que el hecho de que el empobrecimiento de estos países se deba en gran parte a la explotación de sus materias primas por parte de compañías privadas de países desarrollados, que hacen de este expolio una de las bases del bienestar de sus sociedades.

1.2. La economía compartida en el seno del nuevo capitalismo

Karl Marx en su estudio de la producción capitalista a partir del análisis de la mercancía, resalta que la existencia del sistema social se relaciona directamente con la innovación cíclica de sus **fuerzas productivas**³ y dependiendo de las nuevas necesidades (que requiera la cadena productiva), aumenta el crecimiento tecnológico⁴ y las prácticas científicas.

El crecimiento innovador y productivo en el seno de una determinada sociedad depende de las relaciones socio-políticas de dicha sociedad para llevarse a cabo. De esta manera, podemos decir que el capitalismo se extiende y amplía en los países que conforman el centro avanzado del sistema, mientras que en el resto de países las condiciones socio-políticas pueden poner ciertas trabas a esta expansión.

El proceso de implantación del capitalismo como modelo productivo, por entonces conocido como **protocapitalismo**⁵, se inició en el siglo XVI con la invención de la concentración espacial de los trabajadores y con la fragmentación y diversificación del trabajo mediante las máquinas y la posterior automatización de la cadena productiva. (Silva Otero, A. ; Mata de Grossi, M. 2005. PP. 188-191)

Estos cambios en la forma de organizar el trabajo y la producción suponen una ruptura con el modelo gremial, cuya innovación principal radica en la reproducción técnica

3. Concepto central del marxismo. Los primeros medios de producción son los elementos naturales que permiten la subsistencia del hombre. Estos materiales se transforman mediante los procedimientos laborales: complejo industrial, división del trabajo, agrupamiento de los obreros, etc.

4. La visión de Karl Marx sobre la tecnología se expone en *El Capital*, en el tomo I, en la sección 4ta, *Teoría de la plusvalía*, y en *Miseria de la filosofía*, capítulo 2.

5. Sistema económico, también llamado *mercantilismo* o *capitalismo inicial*, basado en el intercambio de metales, como el oro y la plata. Principalmente se considera su origen en la llamada "Primera Revolución Comercial", periodo comprendido entre el siglo XVI y siglo XVIII, que comenzó por los viajes de exploración emprendidos por Inglaterra, España y otras naciones a África, Asia y el Nuevo Mundo.

frente a la pretérita reproducción social y natural. Una vez implantado el nuevo sistema, el capital no solo considera los tiempos de producción, sino también los tiempos muertos, que deben ser continuamente abreviados para un desarrollo rentable de la actividad económica. El funcionamiento lineal y uniforme de las máquinas, unido al gran gasto energético de su puesta en marcha tras un apagado, hace que el tempo del modelo productivo cambie, surgiendo una necesidad de continuidad temporal que en la época gremial no existía, o al menos no tan rigurosamente.

La necesidad de regular los tiempos de trabajo es el contexto en el que se sitúa también una invención como el reloj, que no es otra cosa que la máquina que produce tiempo. Así, nos encontramos ante un cambio en el orden cultural, se cambia el enfoque mítico por un enfoque racional.

En *El capital*, Marx explica cómo el capitalismo, en sus inicios, dio un gran impulso al desarrollo de las fuerzas productivas. La competencia entre los distintos capitalistas en su búsqueda de mayores beneficios y mercados no sólo dio lugar a un crecimiento extensivo, mediante la acumulación y la producción multiplicada, sino también a un crecimiento en el desarrollo de nuevas maquinarias, tecnologías y técnicas productivas a medida que dichos capitalistas reinvertían sus ganancias. Las empresas que no podían seguir el ritmo de la aplicación de las últimas tecnologías y técnicas producían a un costo mayor, siendo por este motivo eliminadas por sus competidores, lo que conducía con el tiempo a una concentración del capital en manos de unos pocos. Pero no sólo el capital comenzó a concentrarse en unas pocas manos, sino que también sucedió lo mismo con la producción y la oferta, surgiendo así los primeros oligopolios modernos⁶.

Paralelamente a esta concentración, o a la expropiación de muchos capitalistas por unos pocos, se desarrollan a una escala cada vez más amplia la forma cooperativa del proceso de trabajo, la aplicación tecnológica, la aplicación técnica consciente de

6. Las economías capitalistas modernas se caracterizan en su conjunto, por la existencia de estructuras oligopólicas de mercado. En dichas estructuras, colaboran entre sí varias empresas, con el fin de mantener su poder y así evitar la competencia.

la ciencia, la explotación sistemática de la tierra, la transformación de los medios de trabajo en formas que solo pueden ser utilizadas en común, la economización de todos los medios de producción mediante su empleo como medios de producción del trabajo social combinado, la absorción de todos los países en la red del mercado mundial y, con ello, el crecimiento del carácter internacional del régimen capitalista. Marx, K. (2000: p. 257-8).

A partir de los 70, las tecnologías de la comunicación como Internet, la red mundial dieron lugar a la democratización universal de la información, que se agudizó con el cambio de siglo. Se produjo entonces un fenómeno de **desmaterialización** de muchas industrias.

El desarrollo técnico-científico recibe un carácter destructivo provocado por el poder político, el capital financiero y las empresas multinacionales que intentan dominar el espacio virtual del mercado. Al igual que sucedía con las empresas físicas, las empresas que operan en el mundo cibernético se ven devoradas por su competencia más innovadora en el momento en que quedan obsoletas.

Actualmente, el paradigma económico está marcado por el creciente desarrollo de las estructuras en red y el uso intensivo de la información, lo que convierte al capital en un creciente valor intangible en los niveles económico y geopolítico.

La huella digital que dejamos cada día es la materia prima productiva del siglo XXI y las empresas tienen acceso a cantidades ingentes de datos generados por la interacción de las personas conectadas a la red, lo que generará nuevos modelos de negocio, como ya se vivió anteriormente con el yacimiento de internet, para crear una estrecha relación entre las empresas y sus clientes. De forma específica, la revolución de los datos masivos permitirá identificar a un gran número de clientes potenciales y ofrecerles de forma proactiva nuevos servicios basados en su perfil para retenerles como clientes satisfechos durante más tiempo.

El desarrollo de esta tecnología supone una fuente de innovación que puede generar enormes beneficios sociales y brinda una gran perspectiva de crecimiento, aunque es discutida como cualquier otro impacto tecnológico.

Prestando atención a los beneficios sociales, el sistema sanitario sería el sector con mayor desarrollo para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos. La capacidad de analizar la información podría servir para dar un diagnóstico determinado en un paciente concreto.

Sin embargo, también podría plantear ciertos riesgos para los derechos fundamentales de la vida privada. La regulación de la privacidad y la protección de datos se encuentran bajo el paraguas de estrictas normativas, y eso es lo que ha frenado la difusión y potencialidad como recurso agresivo de masivas bases de datos.

Existe una gran preocupación por el mal empleo de la información, como pudiera ser vender datos a terceros, exponer información con fines espurios, manipular datos personales, coartar el libre desarrollo de la personalidad, etc.

En la evolución de este fenómeno y la utilización que se realice de estos datos, serán las autoridades de control quienes estipularán un tratamiento limitado y responsable mientras se realice cualquier gestión o transferencia de la información masiva.

1.2.1 La obsolescencia programada

Como señaló Bryan Walsh en la revista *TIME* en Marzo de 2011, *“algún día miraremos al siglo XX y nos preguntaremos por qué comprábamos tantas cosas”*. En nuestros hogares, almacenamos productos que no usamos y que ocupan una gran parte de nuestro espacio, aunque nos guste tenerlos.

El WWF (*World Wildlife Fund*, en español *Fondo Mundial para la Naturaleza*), una de las organizaciones de conservación de la naturaleza más importantes del mundo, confirma que poseemos más de 4.000 objetos (útiles e inútiles) en nuestros hogares.

Se ha comprobado que muchos productos, sobre todo electrónicos, están diseñados para tener una vida útil corta. De esta manera se crea la necesidad de adquirir un nuevo modelo con relativa frecuencia, que además pagaremos cada vez más caro

por ser más evolucionado en cuanto a prestaciones, ya que los modelos antiguos se van retirando del mercado. Esto se denomina obsolescencia programada, y es algo muy característico en nuestra sociedad de consumo.

Por otro lado, la continua extracción de materias primas, los procesos de fabricación y transporte de bienes de equipo y consumo y la eliminación de residuos tecnológicos suponen un gran impacto para el medio ambiente.

Ante este panorama, ha surgido un movimiento conocido como de **consumo colaborativo** o **economía compartida**, que propone compartir o intercambiar los bienes antes que poseerlos exclusivamente durante toda su vida útil. Comprar o producir alimentos de forma colectiva, compartir casa con gente en diferentes lugares o adquirir productos de segunda mano son algunas de las formas de consumo colaborativo o economía compartida más populares.

El siglo XXI está siendo testigo del nacimiento de una nueva era basada en el consumo colaborativo que trastoca, hasta cierto punto, el sistema económico y la cultura de las sociedades en las que opera este cambio.

Como mencionó Kevin Kelly (1952-), director de la revista *Wired*, en su artículo titulado *"The trend is clear: access trumps possession. Access is better than ownership"*⁷, la economía compartida se define a través de la tecnología actual y se amplifica gracias a las redes sociales y a las plataformas de tipo peer to peer (red-entre-pares o red-entre-iguales) como principales herramientas para crear confianza y medir la reputación de las personas.

7. La tendencia es evidente: el acceso vence a la posesión. El acceso es mejor que la propiedad, en kk.org/thetechnium, 21 de junio de 2009.



Fig. 6 Representación ilustrativa del consumo colaborativo.

Este concepto comenzó a popularizarse en el año 2010 de la mano de la británica Rachel Bostman (1978-)⁸ en la conferencia de *TEDxSydney*, donde expone sus ideas en defensa del consumo colaborativo.

Las motivaciones que han impulsado a este fenómeno son variadas. Con la dura crisis económica, la necesidad de ahorro ha dado un impulso al consumo colaborativo, ya que el acceso a los bienes frente a la propiedad de los mismos puede suponer en muchos casos una considerable reducción del gasto. El consumo colaborativo puede también generar ingresos económicos, ya que al permitir el acceso de otros consumidores a los bienes que poseemos, abrimos la posibilidad sacar rédito de un producto que en otras circunstancias sólo nos servía en tanto en cuanto cumplía con su funcionalidad.

8. Bostman es autora del *What's Mine Is Yours: the rise of collaborative consumption*.

Las motivaciones sociales de ciertos grupos de personas han permitido crear modelos dentro de los cuales es posible compartir un bien común. Estos modelos se caracterizan por tener en su idiosincrasia un fuerte componente de socialización y espíritu cooperativo, una actitud que siempre se ha denominado *procomún*.

El número de comunidades y redes surgidas en torno a objetos de segunda mano y susceptibles de intercambio o trueque se ha incrementado notablemente en los últimos años. Un ejemplo de ello son los mercadillos de redistribución o mercadillos de segunda mano, donde se venden objetos a precios muy ventajosos alargando así su vida útil. En ellos, los bienes usados o adquiridos donde no se necesitan acaban en lugares en los que sí son necesarios, y pueden ofrecerse de manera gratuita, ser cambiados mediante trueque o ser pagados con dinero. *eBay*, la web más conocida en el mundo de las subastas, puede considerarse uno de estos mercados de redistribución.

Otro ejemplo de economía colaborativa es la microfinanciación colectiva o *crowdfunding*, que consiste en la participación de cualquier ciudadano interesado en proyectos colectivos que no encuentran una financiación tradicional. Este fenómeno ha alcanzado una enorme difusión gracias a las facilidades que ofrece Internet para su desarrollo. La página web *Crowdacy* recoge más de 60 plataformas de financiación colectiva, mientras que *Kickstarter* sirve para financiar colectivamente proyectos creativos de arte, diseño y tecnología. En España se conoce *Verkami*, una plataforma similar para subvencionar proyectos creativos.

Existen espacios de trabajo, llamados *coworking*, que ofrecen la posibilidad de ser compartidos por profesionales independientes, emprendedores y *PYMES* de diferentes sectores en un plano tanto físico como virtual. Estos espacios ayudan a microempresas o trabajadores independientes que se quieran involucrar para que se establezca una relación social entre los participantes.

Pero también hay empresas que basan su actividad en modelos de consumo compartido.

Una de las ventajas globales del consumo colaborativo es la sostenibilidad ambiental, ya que implica la reducción de la producción, apoyado por el compromiso de un consumo responsable y eficiente de los recursos.

Un propósito del consumo colaborativo es convertir los productos en bienes duraderos que puedan satisfacer las necesidades de la comunidad antes de quedar absolutamente inútiles. Se hace referencia así a “productos nuevos” con un excelente ecodiseño, muy resistentes, y con unas características especiales en base a su innovación tecnológica. Por tanto, si la economía compartida se extiende y el consumo colaborativo crece, se implantaría un modelo de mercado diferente que ofrecería estos nuevos productos.

Actualmente, las grandes instituciones han aprovechado la situación de crisis económica para comprar proyectos que podrían funcionar en el mercado. Aunque el objetivo sea marcar una tendencia hacia la colaboración y reforzar los derechos del consumidor para acabar con los abusos de la empresa privada, es complicado que se produzca una alteración sociológica basada en un marco legal sin caer en la equivocación de cosechar un “mercado libre” similar al que se quiere ser alternativa.

1.2.2 Albert Cañiguer: un punto de inflexión en la manera de entender la sociedad

Desde hace unos años la innovación ha comenzado a incidir en el medio de consumo, en la producción, en el conocimiento y en las finanzas. Es un cambio repentino demandado por la sociedad ante la situación propiciada por el capitalismo y el hiperconsumo como fuente de desigualdades.

Es difícil trasladar esta filosofía a las instituciones políticas, aunque éstas cada vez se muestran menos reforzadas a la hora de dar la espalda al cambio de actitud.

El resultado de este proceso es de lo que conocemos como economía compartida. En la edición 2014 de *TrendSpain*, tuvo lugar el seminario de Albert Cañiguer Bagó, involucrado en la vanguardia del movimiento de la economía colaborativa. Cañiguer es fundador y principal editor de *ConsumoColaborativo.com* y es el conector en Barcelona de la red europea *ouishare.net*.

Apuesta por “normalizar” el intercambio de bienes y servicios y considera que la clave está en aplicar “el sentido común” en el consumo y la utilización de los bienes adquiridos. Este modelo de comportamiento no es innovador. Si lo pensamos, en las comunidades indígenas, donde no existe una sociedad capitalista, sus individuos viven compartiendo sus bienes; también podemos observarlo en nuestros hogares a pequeña escala. Recordemos que antes de que existiera la moneda, el hombre comerciaba y hacía transacciones de otras formas, como por ejemplo mediante el trueque.

Cañiguer nos enseña a aprovechar los productos existentes para ponerlos en venta, alquilarlos, hacer un trueque o compartirlos. Los objetos que tiene más sentido compartir son aquellos con un coste de adquisición elevado como casas, coches, algunos electrodomésticos, etc.

Si evitamos la proliferación de ciertos productos de consumo y reducimos la concomitante extracción de la materia prima utilizada para su fabricación, nos facilitamos la vida y actuamos acorde a unos valores de sostenibilidad y conciencia



Fig. 7 Albert Cañigual Bagó en la edición 2014 de *TrendSpain*.

medioambiental. De esta forma, además, se conseguirían ciudades más eficientes y con una calidad de vida superior.

Para que haya una comunicación eficiente entre personas de diferentes ámbitos geográficos y sociales, la empresa online recurre a la tecnología cibernética. De esta manera, se crea una sociedad conectada, una sociedad en red basada en la confianza. Es decir, es muy importante la reputación de los internautas involucrados en intercambios, porque en caso de que haya malos comentarios sobre ciertos ofertantes y demandantes el resto de usuarios de la red evitarán colaborar con ellos. Como señalaba Cañigual en el citado seminario: *"La plataformización del mundo es lo que va a ocurrir en todos los ámbitos fuera de internet."*

En estos modelos de empresa se espera experiencias de consumo más sociales y sostenibles. Se trata de una relación con una experiencia única y vital. *"Hace*

cinco años, si decías que ibas a casa de un desconocido a dormir te decían que estabas loco. Ahora mucha gente conoce Airbnb o Blablacar como una opción al mismo nivel.” Puntualizaba Cañigueral.

Aunque con este nuevo modelo no todos están conformes, muchas empresas piensan que este sistema puede afectar en sus negocios basados en los modelos previos. Y en realidad es así, ya que el consumo de estos servicios y productos suele ser notablemente más barato que el consumo tradicional. En España, los taxistas denuncian el servicio que ofrece las aplicaciones como una práctica ilegal. En este caso la justicia española, así como gran parte de los consumidores, ha venido apoyando sistemáticamente al gremio del taxi, ya que el taxista es una persona particular que ha invertido una importante cantidad de dinero por la necesidad de garantizar la seguridad del viajero y la calidad del viaje mediante una regulación específica de la que se verían libres los conductores que emplean este sistema.

Por tanto, no resulta descabellado pensar que tras la máscara de instrumento de economía compartida que dejaba ver estas aplicaciones haya en realidad un intento de liberalizar el mercado en beneficio de la empresa privada y en detrimento del servicio al usuario. Cuando un sistema no está completamente instaurado es usual que se den este tipo de hechos conflictivos. Tardará tiempo en normalizarse, pero como dijo Cañigueral es imposible dar la espalda al tsunami.

Durante este seminario, Cañigueral refiere que hay estudios sobre las motivaciones por las que la gente participa en estas iniciativas. En primer lugar estaría lo económico que resulta, después el aspecto social y en tercer lugar se situarían las motivaciones ecológicas. A tenor de estos resultados, cabe plantearse que la motivación ecológica o social debería anteponerse a lo económico, y no es así. Culpamos a las ideologías de controlar el poder económico, pero es difícil que exista una razón común; el hombre por naturaleza es posesivo, y a pesar del empeño por inculcar una determinada educación, no se pueden suprimir ciertas actitudes innatas.

1.3. Los efectos de la transformación de la tecnología sobre la sociedad. Un nuevo modelo social

El nacimiento de una nueva tecnología suele producir cambios en varios aspectos de la sociedad, más profundos cuanto más innovadora sea esta tecnología con respecto a sus predecesoras. Un claro ejemplo de ello lo tenemos en el hecho de que habitualmente se denomine a la máquina de vapor como catalizador de la primera Revolución Industrial.

Por ello la irrupción de una tecnología novedosa debe verse en ocasiones como un fenómeno social que implica un cambio en el sistema cultural, en el que habitan los conocimientos, los hábitos, los valores, los conceptos y los referentes globales. Todos los aspectos culturales nombrados anteriormente se ven trastocados, al igual que los roles que representaban los individuos en el seno de la sociedad *pre innovación*.

Desde la Revolución Industrial se ha ido desarrollando la **automatización**⁹, que ha traído consigo transformaciones sociales devastadoras a la par que grandes avances científicos y económicos. Tomemos como ejemplo la introducción de robots en el proceso de producción en las fábricas; su implantación significó en muchas ocasiones desempleo para las personas que se encargaban de esta labor productiva, pero sin embargo se incrementó la producción, se redujeron los costes y se simplificó el trabajo.

Con el proceso tecnológico innovador se adopta un nuevo **modelo social**¹⁰, el quehacer

9. El termino *automatización* viene de la palabra griega auto y significa la ejecución por medios propios de un proceso, en el que materia, información o energía es cambiado o transformado. Es una amplia variedad de tareas de producción que operan con mínima o sin intervención del ser humano. La fabricación automatizada surgió de la íntima relación entre fuerzas económicas e innovaciones técnicas como la división del trabajo, la transferencia de energía, la mecanización de las fábricas y el desarrollo de las máquinas de transferencia y sistemas de realimentación.

10. El desarrollo de un país se refleja a través del impacto social, impacto científico, impacto tecnológico e impacto económico.

del ser humano sufre una gran transformación, los valores se enfocan de una manera diferente y van surgiendo nuevos conocimientos que a su vez generarán más cambios.

Al hilo de los cambios culturales y sociales que han producido las últimas revoluciones tecnológicas, Nicolas Carr (2011) escribió sobre cómo cambia la web nuestros hábitos de lectura. En sus escritos cuestiona si la inteligencia está siendo afectada por el modo en que las personas filtran la información a través de Internet. Así dice en su ensayo que la memoria ha quedado obsoleta, especialmente a largo plazo, incapacitándonos para una retentiva sólida y duradera. Existen numerosas investigaciones que apuntan a que la memoria cambia con el aprendizaje, su estado es de continua renovación, se expande y se contrae con una elasticidad casi ilimitada.

La llegada de Internet y sus bancos de datos, ilimitados y fáciles de consultar, trajo un nuevo cambio, no sólo en la manera de ver la memorización, sino en la manera de ver la memoria misma. La Red rápidamente llegó a verse como un sustituto, más que un suplemento, de la memoria personal. Carr, N. (2011:219).

Los conceptos e ideas de Carr son muy discutidos por otros pensadores, que opinan justamente lo contrario. Un ejemplo de ello es el periodista Peter Suderman (2009), que escribió en *The American Scene* un artículo llamado “Your Brain is an Index.”¹¹, donde reflexiona sobre la relación entre nuestras conexiones a Internet y la memoria. Sostiene que nuestra memoria debería funcionar como un índice, señalándonos el lugar donde acudir para obtener la información que necesitamos, sin necesidad de memorizar su contenido.

Reading on the web is almost certainly affecting the way we process information, but it is not making us stupid. Instead, it’s changing the way we are smart. Rather than storehouses of in- depth information, the web is turning our brains into indexers. These days, it is not what you know – it’s what you know you can access, and cross reference.

11. Consultar en <http://theamericanscene.com/2009/05/11/your-brain-is-an-index>

In other words, books taught us to think like they do – as tools for storing extensive knowledge. Now the web teaches us to think like it does – as a tool for recall and connection. We won't be so good at memorizing everything there is to know about a particular small-bore topic, but we'll be a lot better at knowing what there is to be known about the broader category the topic fits into, and what other information might provide insight and context. Suderman, P. (5 de Noviembre de 2009). "Your brain is an index", theamericanscene.com.

Leer en la web está afectando, casi con total certeza, a la manera en que procesamos la información, pero no nos está volviendo estúpidos. Más bien está cambiando nuestra manera de ser listos. En lugar de en un almacén de información profunda, es en un índice en lo que la web está convirtiendo nuestro cerebro. Hoy en día, no se trata de lo que sabes, si no de lo que sabes que puedes encontrar y relacionar.

En otras palabras, los libros nos enseñaron a pensar como ellos – como herramientas para almacenar un conocimiento exhaustivo. Ahora la web nos enseña a pensar como ella – una herramienta para recordar y conectar. No se nos dará tan bien memorizar todo lo que hay que saber a cerca de un tema nimio en particular, pero se nos dará mucho mejor saber qué es lo que hay que saber a cerca de la categoría general a la que pertenece ese tema, y qué otra información puede aportarnos perspectiva y contextualización. Suderman, P. (5 de Noviembre de 2009). "Your brain is an index", theamericanscene.com.

Un concepto muy conocido actualmente es el de la denominada **computación ubicua**, también conocido en inglés por términos como *Pervasive computing*, *Calm Technology*, *Things That Think* y *Everyware*. Este concepto se define como la integración de la informática en el entorno de la persona, de manera que los ordenadores no se perciben como objetos diferenciados, sino como complementos necesarios y omnipresentes.

El origen de la computación ubicua se le atribuye al estadounidense Mark Weiser (1952-1999), un ingeniero informático que proponía que los ordenadores personales fueran sustituidos por objetos de uso diario en el que estos estuvieran integrados. Weiser utilizaba con frecuencia la Realidad Virtual para tratar de explicar sus ideas por contraposición y comparación. Decía que las tecnologías ubicuas eran opuestas a la RV: donde ésta trata de poner la vida de las personas dentro de un mundo generado por ordenador, las tecnologías ubicuas fuerzan al ordenador a que conviva con las personas en el mundo real. Intentó plasmar el concepto de ubicuidad al que

se debían ajustar las *tecnologías de la información y la comunicación* (TIC) en la idea de “*anytime, anywhere*”.

Cuando en 1991 publicó esta teoría, el nivel tecnológico necesario para llevarla a cabo era demasiado costoso y en Xerox, la empresa para la cual Weiser trabajaba, descartaron su desarrollo. Hasta el año 1998 no se comenzaron a implantar sus tesis, y no pudo ver completada su idea de la **computación ubicua** en vida.

Actualmente, los modelos básicos que presentó Weiser han quedado obsoletos debido a los avances tecnológicos que han acontecido en el campo de la electrónica. Un claro ejemplo es la **nanotecnología**, puesto que las escalas y la utilidad que ofrece han determinado nuevas características para futuros artefactos, sobre todo, en el campo de la biotecnología.

La *computación ubicua* representa hoy un gran desafío científico/técnico, siendo no obstante considerada como una de las líneas estratégicas de desarrollo para un país. Muchas áreas de investigación están en plena implementación en proyectos del cómputo ubicuo. De hecho, están identificadas como altamente prioritarias.

Neil Postman en su obra *Tecnópolis, la rendición de la cultura a la tecnología*, analiza la difusión creciente de la tecnología y sus efectos en la sociedad centrándose en la metamorfosis distópica que, según su punto de vista, provoca la sobredosis de información y tecnologización contemporánea¹². En el campo tecnológico están los instrumentos principales del progreso, describe Postman, exponiendo a la vez los peligros del exceso de información sobre la naturaleza, una amenaza que terminaría por destruir las fuentes esenciales de nuestra humanidad tales como la religión,

12. Este término no existe, es un *neologismo*. Cuando nos referimos a formar parte de esta era de la información y la tecnologización, no sólo nos estamos refiriendo a formar parte activa en el proceso comunicativo sino que, con las nuevos medios, se produce un efecto de dependencia casi simultáneo. Así pues, nos es prácticamente imposible vivir al margen de la información y de los medios. Junto con esta nueva forma de tejido cultural, aparecen nuevas formas de creación, de expresión, de arte, música.

un sistema simbólico que sustenta los valores fundamentales. El resultado de este holocausto de los valores tradicionales que han articulado la sociedad humana sostenible derivaría en la creación de una cultura, o sucedáneo de cultura, sin fundamentación moral, una cultura que socava procesos mentales y relaciones sociales que dan valor a la vida.

Según Postman, el tecnopolita se mantiene firme en su convicción de que el mundo todavía necesita más información. En definitiva, este tecnopolita ha involucrado un cambio ideológico y ha provocado una cultura en fase de decadencia que ha sido superada por la información, una cosmovisión en la que la misma tecnología es empleada como medio para proporcionar una dirección clara a los objetivos humanos.

Aunque este análisis sea, en cierta medida, correcto; debemos decir que en realidad existe una fuerte relación entre la tecnología y la economización que ha condicionado la idiosincrasia del fenómeno tecnológico-informativo de nuestros días. Como se ha mencionado en los apartados anteriores, la importancia del enfoque de la economía hacia la información como mercancía es creciente y, fuera de este marco, la propia información se vuelve en muchas ocasiones inútil o superflua, llegando a ser despreciada. En este sentido, muchos expertos opinan que los valores económicos reemplazan a los valores científicos y estos a su vez a los valores religiosos y metafísicos.

1.4 La transformación de la tecnología en la comunicación. El almacenamiento de la documentación

Antes de los años 90, internet sólo era accesible para personal militar e investigadores técnicos, pero en la actualidad forma parte de la vida diaria de los particulares y las empresas, que la utilizan para realizar ciertas operaciones que antes se solían realizar cara a cara. La *Red de redes* ha transformado a su vez las formas de relacionarse dentro del área laboral.

La sociedad ha aprendido a interpretar las cosas según el valor de la interfaz. Los referentes sociales y los mecanismos de mercado son responsables de la arquitectura del ciberespacio, que no deja de ser una proyección representativa de las necesidades y deseos de las personas.

Podemos merodear por la interfaz a través de las *ventanas*¹³ como una forma de situarnos en varios contextos al mismo tiempo. Por ello, la arquitectura de una página web tiene suma importancia, se pueden crear contenidos, enlazar con otros lugares, pegar palabras, crear galerías de imágenes o vídeos... El diseño de la *interfaz*¹⁴ es vital e importante para el manejo del dispositivo, lo que conlleva que los diseñadores al momento de su creación pongan especial énfasis en determinar el tipo de usuario, su conocimiento y su experiencia.

Además, tienen en cuenta que la memoria es un proceso psicológico frágil que se degrada con gran rapidez. Los usuarios no suelen recordar cómo realizar una tarea de una visita a otra; por este motivo se las interfaces no pueden estar cargadas de multi-funciones, ya que podrían saturar al usuario. Además, sólo podemos prestar atención a un número limitado de información en una pantalla sin perder el interés, así que la información debe ser fácil y accesible para que el cerebro pueda escanearlo todo de manera completa; de esta manera, el diseño de las interfaces son puramente intuitivas, siendo los bloques de texto normalmente cortos. (Weinschenk, S. 2010)

Es cierto que con el tiempo la sociedad ha aprendido a confiar más en los medios

13. El desarrollo de ventanas en las interfaces del ordenador fue una innovación técnica motivada por el deseo de conseguir que la gente trabajara de forma más eficiente al poder trasladarse de una aplicación a otra.

14. En ingeniería electrónica y en la telecomunicación, el término interfaz es un circuito físico que envía o recibe señales de un sistema hacia otro, para brindar la comunicación a diferentes dispositivos. La interfaz se entiende como un espacio o un lugar donde se desarrolla la interacción y la comunicación del usuario con una computadora o dispositivo, siendo éste capaz de interpretar el código binario mediante la visualización un conjunto de elementos que aparecen reflejados en la pantalla. La Interfaz táctil, Se compone de una pantalla sensible al tacto que permite interactuar con el dedo de forma similar a si se accionara un control físico. Normalmente representa gráficamente el mismo contenido que en la computadora, aunque sufre un proceso de adaptación.

digitales que en los tradicionales. Las personas se sienten seguras porque pueden tomar el control de lo que nos puede ofrecer una pantalla. Un ejemplo claro es la orientación que nos proporcionan Google maps y otros dispositivos de navegación, los cuales nos han distanciado del entorno que nos conformó y nos alejan de nuestro sentido innato de la orientación.

La sobreexposición de la imagen fomenta la pereza del pensamiento, el desinterés por la lectura y la decadencia de la palabra, lo que implicaría efectos cognitivo-conceptuales negativos y el anquilosamiento del pensamiento argumentativo. Estas consecuencias, surgidas de la implantación de la imagen como unidad básica de comunicación en detrimento de la palabra, terminarán por condenar al ser humano a una futura época donde la ausencia del sentido crítico será la nota imperante.

Además de la sofisticación progresiva de la interfaz, el crecimiento del sector tecnológico ha provocado el aumento desmesurado del volumen de datos registrados, por lo que son necesarios sistemas de almacenamiento. El **Big Data**¹⁵ ha dado solución a organizar y guardar información masiva.

Los académicos comenzaron a denominar *explosión de la información* a esta increíble expansión en la generación y registro de datos, apareciendo el término por primera vez en el periódico *Lawton Constitution* en el año 1941. El concepto se desarrolló en un artículo del *New Statesman* en marzo del año 1964, en el que hacía referencia a la dificultad que suponía gestionar los volúmenes de información disponibles en aquel momento.

En 1944, la revista *The American Scholar* publica un artículo sobre el futuro de la Biblioteca de Investigación en el que Arthur Fremont Rider¹⁶ escritor estadounidense

15. *Big Data* (del idioma inglés grandes datos) es un término aplicado a conjuntos de datos que superan la capacidad del *software* habitual para ser capturados, gestionados y procesados en un tiempo razonable. Los tamaños "Big Data" se hayan constantemente en aumento.

16. Rider fue bibliotecario de la universidad de *Wesleyan*, llegando a ser el director de la universidad *Olin*

y bibliotecario de la Universidad *Wesleyana*, estimó que las bibliotecas universitarias estadounidenses fueron duplicando su tamaño cada dieciséis años. Dada esta tasa de crecimiento, Rider especula que la Biblioteca de Yale en 2040 tendrá aproximadamente 200 millones de volúmenes que ocuparán 6.000 kilómetros de estanterías.

Comparándola a las enciclopedias y a las bibliotecas tradicionales, la *World Wide Web*¹⁷ además de crear una descentralización repentina y extrema de la información y de los datos, ha transformado la forma de comunicarnos a nivel mundial. (Pazmiño Benavides, P. A., 2010) Pero a pesar de la inmediatez que podemos obtener de ella, las búsquedas de información se hacen complicadas. La evolución de la información virtual tiene cierto desprestigio debido a que es relativamente complicado hallar documentación completamente imparcial y objetiva. Internet es un medio al alcance de todo potencial informador, donde la libertad de expresión a veces va unida a la tendenciosidad y donde las noticias más relevantes según el baremo tradicional pasan muchas veces desapercibidas. Para hacer un buen uso de la información virtual debemos saber filtrar bien los lugares donde se encuentran los contenidos de calidad.

“El enlace o hipertexto es el elemento base que hace que sea posible su función, ya que ofrece la posibilidad de encontrar y compartir información a tiempo real.” (Delgado A., 24 de Junio de 2014 “España Desconectada”, eldiario.es)

En 2004 con la aparición de la Web Social, la información se “democratizó”, tanto desde el punto de vista del emisor como del receptor. Se pudo acceder a diferentes enfoques de la información más allá de los que han ofrecido a lo largo de su historia

Memorial Library. Más tarde se convirtió en el fundador de la Godfrey Memorial Library de la genealogía y la historia en 1947.

17. Nace el 21 de noviembre de 1969, La primera red interconectada, cuando se crea el primer enlace entre las universidades de UCLA y Stanford por medio de la línea telefónica conmutada. Posteriormente en 1990 llegó un nuevo servicio *World Wide Web*, que logró romper las barreras físicas entre las regiones remotas.

los medios de comunicación tradicionales, se diversificó y aumentó enormemente la información disponible y los receptores potenciales de la información comenzaron a elegir sobre qué y cómo informarse. Pero frente a estas ventajas, con el hecho de que cualquiera pueda ser creador de contenidos tras estos cambios se corre el riesgo de vulgarizar ciertos ámbitos de la información, lo que puede llevar a que un receptor sin preparación no sea capaz de cribar contenidos y caiga en la desinformación.

Respecto al acceso, uso y propiedad de la información en la red, es un derecho humano reconocido por la ONU. Internet es un lugar de procomún, existe una cultura de colaboración mutua donde se expresan y establecen todo tipo de contactos en los sitios web. Desaparece la corporeidad de la comunicación cara a cara y se instaura la comunicación pluridireccional y dialógica más influenciable por todos los participantes, con una cantidad de información desbordante. El hecho de limitar su uso podría afectar a derechos fundamentales como la libertad de expresión, información y educación.

Por otro lado, el Tribunal de Justicia de la Unión Europea señaló que los buscadores y los servicios de redes sociales deben ajustar sus políticas por defecto a fórmulas respetuosas con la privacidad de los usuarios. Un modelo considerado muy efectivo por el mercado online y de los productos digitales es aquel que varía en función del número de personas que lo utilizan, cuantos más usuarios mayor beneficio. Normalmente, los servicios gratuitos de las empresas en línea constituyen cebos para atraer al mayor número de consumidores posible, cuyas identidades y cuyos perfiles se monetizan a través de las tecnologías digitales. Google (aunque existen otros monopolios basados en la explotación de datos personales como Apple, Microsoft, Facebook,...), empresa creada en 1998, se sitúa como punto de acceso privilegiado a los contenidos de la red, ya que en Europa procesa más del 90 por ciento de las búsquedas de Internet. A través de sus servicios y aplicaciones, la empresa manifiesta su ambición de organizar y de distribuir toda la información del mundo, mostrando la proximidad de la noción de gratuidad con los ideales de igualdad y de democracia. Fayos Gardó, Antonio (2016)

Existe una despreocupación por parte de los consumidores, que no dudan en divulgar informaciones sobre ellos mismos y descuidan la protección de sus datos, ignorando que las empresas hacen negocio con sus datos, aunque se sienten recompensados por la calidad de los servicios gratuitos.

Es importante llegar a un equilibrio entre dicha privacidad y la libertad de información. La norma generó mucho temor, ya que podría ser utilizada perversamente para ocultar información. Para las identificaciones policiales, por ejemplo, es necesario localizar ciertos perfiles y datos personales que permitan el avance de las investigaciones de sus casos; si desaparecen los rastros, no se podría localizar a los sospechosos. Para la detección -y posterior detención- de terroristas, pedófilos o defraudadores fiscales la elaboración de perfiles estadísticos permite anticipar los comportamientos para intervenir previamente.

Por otro lado, a pesar de que por parte de los gigantes de la información en internet se hagan estimaciones a la baja del riesgo de la amplia visibilidad de la información, ésta siempre puede revelarse perjudicial en un contexto de difusión.

La reputación en línea ha tomado mayor importancia que una impresión tomada de una situación real. Hoy, gracias a las herramientas que proporciona la tecnología podemos saber en todo momento dónde está una persona, y podemos ser informados de sus planes, reuniones y decisiones. Es fácil mostrar o codificar información, pero una vez encriptado es difícil hacerla desaparecer.

A diferencia de la concepción europea que considera que la protección de los datos como un derecho fundamental, la concepción norteamericana se muestra más sensible a las dimensiones y los retos económicos de dicho derecho. Fayos Gardó, Antonio (2016)

En los sistemas de derecho europeos la protección de los datos personales y la privacidad se imponen como prioridad, al menos sobre el papel, mientras que en

los Estados Unidos se prioriza una teórica garantía de seguridad a la hora de legislar sobre protección de datos personales. Ambas posiciones, en principio encontradas, han dado lugar al nacimiento de dos culturas de la vida privada en Occidente¹⁸.

El profesor de Ciencias Políticas Reg Whitaker en su libro *The End of Privacy*¹⁹ hace hincapié en el tratamiento de los datos y la información en la era contemporánea. La digitalización podría compararse con una moneda universal que permite el flujo de los datos y el símil no sería descabellado. Aunque la organización de la base de datos responde a principios específicos, la información puede trasladarse fácilmente de una base a otra. Debido a la funcionalidad que ofrece al facilitar este traslado, uno de los aspectos importantes en el tratamiento de datos es la manipulación y la vinculación de los mismos, gracias a la cual distintos archivos de información pueden presentar diversas coincidencias, así como vincularse para producir información nueva y valiosa. Algo que ocurre muy a menudo con los datos derivados de las transacciones comerciales es que al emplear la tarjeta de crédito las personas no saben que su información irá a parar a una base de datos y con qué fin será usado: por un lado, los datos serán enviados a la empresa de crédito, y por otro lado a la empresa que efectúa la venta.²⁰

Las nuevas tecnologías hacen a los individuos “visibles”, pero dicha visibilidad está expuesta a una multitud de miradas desde direcciones muy diferentes, y en busca de cosas muy distintas. Según Whitaker, nos encontramos ante un sistema de vigilancia más dominante y penetrante que el de Orwell y que reside en la participación voluntaria de la gente, una complicidad que se consigue gracias a los beneficios que el sistema puede ofrecer a primera vista. Nos hemos entregado a una especie de *Gran Hermano*

18. James Q. Whitman señala en *The Two Western Cultures of Privacy: Dignity versus Liberty* este análisis.

19. Whitaker R., *The End of Privacy* (1999) Nueva York: The New Press.

20. Conservación de datos de carácter personal relativos a los números de tarjeta de crédito de clientes. Informe 127/2006

orwelliano²¹ sin darnos cuenta ni protestar, cegados por unas comodidades que a la vez nos “desactivan”, retroalimentando así el sistema al aumentar nuestra vulnerabilidad. Obviamente, al ser tangibles estos beneficios y al no percibirse demasiado obviamente los inconvenientes que provocan, nos confiamos hasta el punto de ignorar de qué manera es empleada nuestra información íntima sin reparar en ello, preocuparnos o soliviantarnos.

Existen posturas a favor o en contra de la preservación de la vida privada frente al fácil acceso a los datos personales. Hay quien ve una frontera evolutiva en la acumulación de informaciones sobre los internautas con el fin de desarrollar una sociedad transparente, defendiéndolo como un derecho humano fundamental tras el que en ocasiones se esconde un interés para no obstaculizar el comercio de datos, garantizando además que esta transparencia no sea aplicada al poder político. Sin embargo, otros conciben Internet como una amenaza para la civilización, sometida a un control abusivo sobre sus datos, los cuales han sido empleados sin el consentimiento de los individuos. Muchos escritores han valorado lo que significa internet y prevén que en el futuro la civilización global se convierta en una distopía posmoderna de vigilancia.

En este contexto el desarrollo de técnicas para gestionar datos y aumentar la vigilancia significaría el colapso del individuo, ya que tendría que vivir en un entorno de control permanente.

La edición de 2014 de *TrendSpain*²² se centró en la tecnología como un instrumento que puede transformar la experiencia humana y la relación con su entorno.

21. “Gran Hermano” o “Hermano mayor”, también conocido como “Big Brother”, es un personaje de ficción creado por el escritor George Orwell (1903-1950) para su obra 1984. Esta novela fue tan popular que el nombre de este personaje se ha usado con mucha frecuencia para referirse a gobiernos autoritarios.

22. *TrendSpain* es un evento organizado por Google España. Se centra en analizar temáticas relacionadas en el ámbito de la Sociedad Red.

Dentro de este evento resultó especialmente interesante para el presente trabajo “*Tecnologías que mejoran nuestra experiencia emocional*” de Alicia Mora, que actualmente trabaja en I+D+i y nuevas tecnologías en la compañía *Emotion Research LAB*. Esta empresa está dedicada al análisis del comportamiento humano mediante el reconocimiento facial aplicado a líneas diferentes como investigación de mercado, marketing y publicidad, robótica, psicología, etc.

Mora sostiene en este estudio que gracias a la tecnología podemos llegar a mejorar la inteligencia colectiva y nuestro entorno, además de facilitar el entendimiento de nuestro cuerpo y nuestras emociones. En la compañía *Emotion Research LAB* han desarrollado distintas aplicaciones para el análisis de las emociones. Con una máscara de 400 puntos situados sobre nuestros óvalos faciales se puede reconocer el movimiento de los 128 músculos de nuestro rostro. De esta manera la aplicación traduce las **microexpresiones**²³.

El algoritmo matemático transforma estas microexpresiones en expresiones básicas, que son capturadas por una visión artificial capaz de analizar la experiencia emocional de hasta 15 sujetos a través de una simple cámara a tiempo real.

La finalidad de estas aplicaciones es que nosotros como usuarios podamos obtener los productos que realmente queremos o necesitamos.

El reto de las marcas es entender qué quiere el cliente sin que estas tengan que escuchar a los clientes, que suelen ser políticamente correctos. Los datos recabados pueden ser vitales para poder tomar decisiones. Estamos en la era de las emociones, se podría identificar a las personas o en qué emoción se encuentran. (Mora, M, 2014. Entrevista publicada en TrendSpain 2012-2015: un recorrido por las tendencias)

23. Las microexpresiones tienen una base científica y están universalmente testadas. Paul Ekman en los años 70, parametrizó las emociones básicas y universales: felicidad, sorpresa, enfado, asco, tristeza, miedo.

Concluimos que es un hecho innegable que Internet forma parte de la vida cotidiana de hoy día, y que nuestra “vida virtual” es una prolongación de nuestra vida real en una interrelación cada vez más estrecha entre ambas. Todos tenemos un perfil digital, pues llevamos vidas digitales, nos divertimos de manera digital, hablamos de forma digital...etc., aunque en ocasiones la vida digital que intentamos mostrar no se asemeje a nuestro “yo” de la vida real.

1.5 La tendencia al aislamiento. Los hikikomori y la crisis de identidad en la sociedad tecnológica

Cuando se produce un giro histórico de manera repentina, como puede ser el caso de una guerra, una invasión, una catástrofe natural, un cataclismo económico o una revolución, el cambio acontecido afecta directa y bruscamente a todos los sujetos dentro de la sociedad que lo padece. Los roles y las identidades cambian, provocando un vuelco en las relaciones previamente establecidas dentro de la sociedad en transformación.

Internet se estableció en la vida cotidiana, como tecnología de la comunicación. Desde entonces la comunicación ha cambiado la manera de pensar de las personas, la forma de nuestras comunidades, y la identidad del ser humano.

Hoy en día, un alto porcentaje de nuestras actividades se desarrolla en el espacio virtual; podemos decir que la “vida virtual” se entrelaza con nuestra “vida real” creando un todo cada vez más homogéneo y en el que el peso de lo virtual tiene una tendencia notablemente ascendente. El ciberespacio se ha convertido en un escenario más de nuestra vida, como antes lo eran los lugares físicos de trabajo, enseñanza, vivienda, comercio u ocio. Ahora gran parte del protagonismo que antaño tenían estos espacios físicos en el desarrollo de nuestras actividades vitales ha sido usurpado por un ciberespacio “único”, capaz de englobar los diferentes aspectos de nuestra vida en un mismo entorno.

El sujeto ha pasado a percibir la realidad en relación con el ciberespacio, nuestros



Fig. 8 Lugar íntimo de un hikikomoris. A menudo, la televisión y los videojuegos se convierten en su marco de referencia.

esquemas mentales se han amoldado de tal manera a al fenómeno de la “vida virtual” que nos cuesta imaginarnos en otro tipo de sociedad sin sentirnos desubicados. Hemos desarrollado referencias enclavadas en el terreno de lo virtual, lo que supone que hemos instalado parte de nuestra proyección vital definitivamente en el ciberespacio, sin posibilidad de salir de él sin trastocar nuestros esquemas de manera traumática. Es obvio que hay diferentes niveles en este proceso, dependiendo de la persona y de la cultura en la que ésta se desenvuelva; el fenómeno japonés del *hikikomori* (en español apartarse, o estar recluso), son personas que renuncian a su vida real involucrándose al 100% en su vida virtual, representa la inmersión en el ciberespacio llevada hasta el paroxismo, mientras que la mayoría de los jóvenes equilibrados y estructurados del entorno mediterráneo, con una tradición muy arraigada de vida social callejera, son ejemplo de equilibrada compaginación de lo “virtual” y lo “real” en sus relaciones personales.

Los hikikomoris encuentran en el ciberespacio, un lugar de desinhibición y de encuentro, cuyas primeras manifestaciones, desvela una pérdida de interés por la existencia, por la existencia en el mundo real.

Nuestra forma de relacionarnos e identificarnos ha cambiado, se han creado nuevos roles sociales exclusivos para el ciberespacio y el concepto de relación personal se ha diversificado para dar cabida al “seguidor” o al “amigo virtual”. Los códigos del éxito en el mundo del ciberespacio resultan desconcertantes para alguien acostumbrado a analizar los comportamientos sociales previos a la época de internet. Los valores que algunos jóvenes dejan traslucir en las redes sociales o su búsqueda de una fama cuantitativa y a veces denigrante son fenómenos desconcertantes y negativos propios del mundo de Internet.

En la actualidad Internet enlaza a millones de personas, de manera que ha crecido el interés por el mundo social entendido en un concepto más amplio, pasándose a valorar los estilos de vida de otras personas antes más o menos ajenas a nosotros. Es esta una actitud en la que, parafraseando el famoso refrán, se opta por “abarcas mucho y apretas poco”.

La difusión de la vida privada ha dado lugar a nuevos comportamientos a la hora de expresarse y de intercambiar información, ideas o emociones. La web participativa ha sido analizada como la consecuencia del individualismo (además de causa de su incremento, en una continua retroalimentación), e incluso como de la cultura narcisista que caracteriza a las sociedades democráticas contemporáneas²⁴.

El aumento del narcisismo mediante la inmersión en el mundo virtual, con la creciente atomización de la experiencia, pueden influir en la formación de las identidades al imposibilitar o hacer muy difícil el mantener narrativas biográficas coherentes. La formación de identidades digitales puede desestimular la sociabilidad y el diálogo

24. Matterlart A. y Vitalis, A. (2015) *De Orwell al cibercontrol*. Ed. Gedisa, Barcelona. p. 173.

directo, así como alterar los cuadros de percepción de la realidad.

Los expertos están de acuerdo en identificar este proceso como la Des-Socialización²⁵ del sujeto, quien siente una incertidumbre de no saber quién es, por el hecho de que el mismo individuo se está diluyendo entre las redes sociales; en ellas no tiene una base sólida, ni un anclaje emocional estable. Lo que se percibe no es una evolución acelerada de la conducta, sino la fragmentación creciente de la experiencia de los individuos, que han perdido la unidad de su yo y se han vuelto múltiples. Esta multiplicidad puede llevar a la falta de referentes a los que atenerse en determinadas situaciones, al estilo de un psicótico perdido a la hora de asimilar y enfrentar ciertas realidades.

En esta línea, el resultado final es la falta de estabilidad y la pérdida de confianza en las normas, generándose en el individuo incertidumbre, inseguridad y ansiedad profunda. La extrañeza con la moral heterónima que se produce con la des-socialización, unida a la incapacidad de crear una moral autónoma por parte de unos individuos que se mueven por la superficialidad y la inmediatez, da lugar a un nuevo tipo de nihilismo que puede llegar a poner en peligro la integridad de otros miembros de la sociedad.

Este resultado final es lo que llamaríamos una crisis de identidad. El filósofo canadiense Charles Taylor (1931-) afirmó lo siguiente *“Una forma de aguda desorientación que la gente suele expresar en términos de no saber quiénes son, pero que también se puede percibir como una desconcertante incertidumbre respecto a lugar en que se encuentra.”*²⁶ Parece que la única salida del individuo llegado a este punto es proyectar el yo en el mundo digital, en el que se desdibuja el lugar que ocupan los sujetos en la sociedad y se deterioran las relaciones entre los individuos.

25. Alain Touraine, (1925) sociólogo francés que analiza los movimientos sociales e investiga la sociedad post-industrial.

26. Taylor C. (1997) *“¿Podemos vivir juntos? Iguales y diferentes”*, Buenos Aires: Fondo de cultura Económica.

Aunque podamos creer que somos seres congruentes e integrados con una identidad única, en realidad somos receptores de un enorme cúmulo de información que nos brinda pautas diversas de cómo actuar. A través de los otros, conocemos nuevas formas de ser y de actuar, nuevos saberes que van forjando a su vez nuestra propia identidad y nuestros propios valores. Vamos amoldando más esas valoraciones a nuestros deseos. (Kenneth J. Gergen, 2006)

La identidad en nuestros días es el resultado de un Yo compuesto por una compilación compleja de otras identidades. Kenneth J. Gergen afirma *que a medida que avanza la saturación social, acabamos por convertirnos en pastiches, en imitaciones baratas de los demás... Cada cual se embebe cada vez más del carácter de todos los otros, se coloniza.* (Kenneth J. Gergen, 2003: 103).

Además si sumamos, el poder de Internet, un espacio lleno de simulacros y juegos de seducción, se comprende que el contacto de los individuos ha cambiado con respecto al mundo real. El Yo se ha retroalimentado de lo ajeno para construir o redefinir su propia representación. Este compendio de conductas monótonas, no dejan de ser el resultado de un conjunto masivo de representaciones estereotipadas, que tarde o temprano caerán en el tedio. (de López J., [PDF] *La colonización del Yo, Identidad e Internet*, Facultad de Bellas Artes, Universidad de Barcelona)

Por tanto, ya no somos un individuo, somos una multitud dentro de uno o lo que se conoce como “*multiplicidad del yo*”, que quiere decir que en todo ser humano existen varias sub-personalidades²⁷.

Las relaciones sociales se determinaban por el entorno geográfico en el que se desenvolvían las personas y los medios como la radio, la televisión y la prensa empleaban opiniones e ideas estereotipadas. En cambio, en la actualidad existen

27. Sherry Turkle, en 1997 en su obra *La vida en la pantalla* define la sociedad de finales de siglo XX y principio del XXI y examina las construcciones y reconstrucciones del yo en la Realidad Virtual. Se trata de un contexto que erosiona los límites entre lo real y lo virtual. Afirma como parte de un contexto cultural, en Internet se nos anima a pensar sobre nosotros mismos como “fluidos, emergentes, descentralizados, múltiples, flexibles y constantemente en proceso”.

nuevos modelos de comunicación asociados a los social media cuya máxima expresión son las redes sociales de Internet.

Los usuarios construyen diferentes identidades y las desenvuelven en un sinfín de relaciones inconexas, heterogéneas y en ocasiones hasta dispares. Las representaciones digitales que empleamos en nuestros perfiles constituyen nuestro yo, definen quiénes somos dando una visión detallada de la situación real. Pueden adquirir varias formas: iconos, avatares, perfiles o simples palabras que transmiten todo un conjunto de información a los usuarios.

Esta información que transmitimos a los demás usuarios, no tiene por qué coincidir exactamente con nuestra identidad real, sino que constituye una identidad que la persona construye de sí misma. De esta manera proyectamos ideas y fantasías valiéndonos de las redes sociales como medio propiciatorio.

La identidad digital no es un reflejo de lo que somos, sino más bien de lo que queremos ser y cómo queremos que nos vean. Está compuesta por un crisol de experiencias volcadas en las redes sociales, por otro lado vividas en el mundo real.

La identidad se nutre en un proceso continuo en el que es constante y omnipresente el estímulo visual mediante una marea incesante de imágenes. Estamos sobreexpuestos a unos estímulos visuales que conectan fácilmente con las instancias inferiores de nuestra psique, lo que a su vez repercute en una cada vez menor capacidad de resistencia y discriminación ante estos estímulos. El resultado de este fenómeno es una retroalimentación que nos lleva a “ser lo que vemos”.

Es éste un proceso de personalización mediante un mecanismo de seducción continua, regulada por la sociedad contemporánea, frente a la lógica de las relaciones de producción que operaban en el pasado. Hablamos de un mecanismo que deriva en un deseo del individuo de sentir más intensamente, más superficialmente, más habitualmente y menos prolongadamente. Una de las principales causas de este fenómeno es la situación vinculada con la imagen, ya que ésta ha ampliado su

presencia, insertándose en nuevos medios, fenómeno que culmina con el crecimiento de la imagen digital.

Remedios Zafra destaca el cambio que se ha producido en la forma de relacionarnos a través de las pantallas y la conformación de una sociedad-Red, un nuevo marco de referencias simbólicas e imaginarias para construir modelos identitarios.

Es fácil pensar que el contexto visual y digital contemporáneo es distinto, y que las condiciones de relación dibujan un escenario de oportunidad e imaginación sin precedentes, sin embargo, pareciera que nunca la reiteración simbólica ha sido tan gris como en la actualidad, subordinada al capital y a la seducción placentera de identificación homogeneizadora. Zafra, R. (2010: 108)

Desde que se concibe la era digital construimos nuestro cuerpo desde un mundo virtual, basándonos en este como un conjunto de percepciones subjetivas, cuya imagen se encuentra bajo el dominio colectivo.

Otro efecto nocivo endémico de las redes sociales es la preocupación por el crecimiento de unas amistades que detrás de un valor cuantitativo no tienen el más mínimo valor cualitativo. Bien por miedo al rechazo (ya sea éste un rechazo “virtual” o “real”) o bien por aumentar el número de amistades o seguidores, se tiende a desarrollar en las redes sociales una obsesión por la reputación, lo más importante a partir de entonces es lo que puedan pensar los demás.

En las experiencias que esta época digital le ha brindado la posibilidad de llevar a cabo, el individuo se ha sentido adulado, vanagloriado. Prueba de ello es el incremento exponencial de actividad que se ha producido por parte de los usuarios desde el nacimiento de las redes sociales. El “reconocimiento” hace que tengamos más facilidad para hacernos notar a través de los accesibles social media. Ahora que todos podemos ser famosos, muchos más lo intentan cada día.

En el mundo cibernético se ha asentado el lema *Comparto, luego existo*, compartir se ha convertido en la manera de ser escuchado y de sentirse conectado con la comunidad virtual. Estamos más conectados, siempre a la búsqueda de cualquier excusa para incentivar las acciones en la red, volviéndonos más pasivos y desconectados del mundo real. Hoy en día basta con hacer un clic para poner fin a una relación y hacer nuevos amigos, lo que demuestra el poco calado emocional y espiritual de las relaciones imperantes en la red y, por desgracia, cada vez más también fuera de ella. El hecho de extrapolar el concepto de amistad cibernético a nuestra vida física demuestra la anteriormente citada interconexión creciente entre ambos ámbitos. La virtualidad está empezando a vampirizar la idiosincrasia emocional y profunda de las relaciones sociales humanas.

Ciñéndonos al campo de los videojuegos, cuando accedemos a los espacios virtuales, gestionados por sistemas informáticos complejos e interactuamos con otros usuarios, no solemos estar presentes físicamente, sino que nuestro cuerpo, nuestra mente y nuestras acciones están representados por sustitutos digitales²⁸.

Ante este panorama desconcertante y vertiginoso no podemos evitar que se nos venga a la mente una pregunta: *¿puede que esta posibilidad de evasión que brinda la identidad digital sea el combustible de la aceleración de la soledad distópica hacia la que avanzamos?*

Hace una década, la gente tenía miedo y angustia ante la idea de que sus propias mentes pudiesen ser similares a la “mente” del ordenador. Había una reacción contra el formalismo y la racionalidad de la máquina. Sin embargo, ahora utilizamos las herramientas digitales para expresar nuestro comportamiento y sociabilizarnos con el resto del mundo; existe un estrecho vínculo, ya que nos apoyamos y confiamos en la tecnología, que nos permite actuar más allá de nuestros límites corporales, aunque altere nuestra percepción del mundo y lo que el mundo significa para nosotros.

28. Turkle S. (1997) *La vida en la Pantalla, La construcción de la identidad en la era de Internet*. Ediciones Paidós Ibérica S.A, Barcelona. p. 324

Según Nicolas Carr, *“las tecnologías digitales de la automatización, en lugar de invitarnos al mundo y animarnos a desarrollar nuevos talentos que aumenten nuestras percepciones y expandan nuestras posibilidades, tienen con frecuencia el efecto opuesto. Están diseñadas para desalentar. Nos alejan del mundo.”*²⁹

La realidad se vuelve cada vez menos significativa, nos volvemos incapaces de percibir lo que el mundo nos puede ofrecer y acabamos buscando nuestro significado existencial en el mundo digital.

1.6 Reflexiones sobre las tecnologías de representación tridimensional en la sociedad contemporánea y en los medios de comunicación

En el sentido estético, si analizamos la historia, la importancia de mostrar con detalle la realidad, y capturar el movimiento natural del ser humano se la dieron principalmente las industrias audiovisuales (cinematográfico y los videojuegos) que respondieron a su desarrollo e innovación para que las secuencias o historias narrativas tuvieran más credibilidad y así atraer al público.

Por ello, los lenguajes tridimensionales siempre se han asociado al tiempo de ocio que en el progreso de la actividad social.

Respondiendo a este análisis, en general, las tecnologías tienen un complejo y largo proceso de consolidación, principalmente, tiene que hacer frente a la infraestructura (competencia de los mercados), alianzas transfronterizas entre mercados regulados, y lo más importante, que tenga un marco normativo favorecido para que se produzca los procesos de cadena de valor de la negociación.

Hoy gracias a los efectos de la globalización, la interacción de la economía compartida, la constante innovación tecnológica, y en concreto, el desarrollo de las tecnologías de la información y la comunicación, han transformado la estructura de la sociedad actual.

29. Carr N. (2014) *Atrapados, cómo las máquinas se apoderan de nuestras vidas*. Taurus, Madrid. p. 251

Por tanto, aunque la innovación tecnológica está más determinada a complacer los intereses de las masas, hay cierto interés por potenciar y promover las tecnologías informáticas en muchos aspectos de la vida cotidiana, sobre todo, que puedan responder a la comunicación instantánea y a la experiencia compartida, ya que la actividad de intercambiar información forma uno de los mayores valores de la humanidad a nivel existencial.

Por este motivo, la búsqueda de nuevos lenguajes tridimensionales como la Realidad Virtual, (inmersión, experiencias cognitivas e interactividad), la Realidad Aumentada (puede unir personas a través de la comunicación), o incluso, la impresión 3D (tiene la capacidad de resolver un problema) no sólo se reducen al tiempo de ocio sino que se han podido aplicar en otras disciplinas que han ayudado a intensificar su desarrollo. Como es el caso de la educación académica, resulta difícil asimilar ciertos contenidos y se ha comprobado que el uso de estas herramientas aumenta la motivación y mejoran el conocimiento; o en la formación médica, que ayuda en la visualización quirúrgica y puede llegar a realizar simulación de escenas vivas y naturales.

Por otro lado, frente a los estudios, aplicaciones y patentes que se pueden llegar a desarrollar, se puede aprobar que la confluencia de la imagen tridimensional en la innovación tecnológica puede significar una alteración en el proceso evolutivo y determinar una nueva escala en la sociedad.

En este aspecto, los cambios en el comportamiento del ser humano puede obedecer desde sus valores, las comunicaciones hasta la formación o aprendizaje del individuo que es importante para la resolución de problemas y el coeficiente intelectual.

Capítulo 2

Historia y evolución de la imagen tridimensional

En el presente estudio se ha realizado un análisis de los sistemas de representación tridimensional. Como se apreciará en los siguientes apartados, la holografía mantiene en el presente una estrecha relación con las tecnologías de proyección lumínica de gran formato. El motivo de dicha relación reside en la respuesta a una imagen volumétrica que se despliega de la citada proyección lumínica. Además, esta técnica genera la visualización en el aire a tiempo real. Por este motivo el control de la luz presente en la holografía, se sitúa entre las tecnologías de vanguardia.

Los proyectos planteados hasta ahora sólo se declinan por tecnologías no-holográficas, que a pesar de ser tan sofisticadas, su mecanismo no se alejan de sus precedentes.

En el procesado óptico holográfico, se conoce la técnica de estereogramas para el registro de objetos en movimiento. Aunque la calidad de imagen tridimensional sea alta, su mecanismo no ofrece la probabilidad de simplificarse. Esta cuestión no sólo hace difícil su patentado sino que su instalación en lugares públicos es improbable.

El siguiente esquema da una visión global y refleja tanto los hitos técnicos, como la evolución de los sistemas de representación tridimensional a lo largo de los siglos.

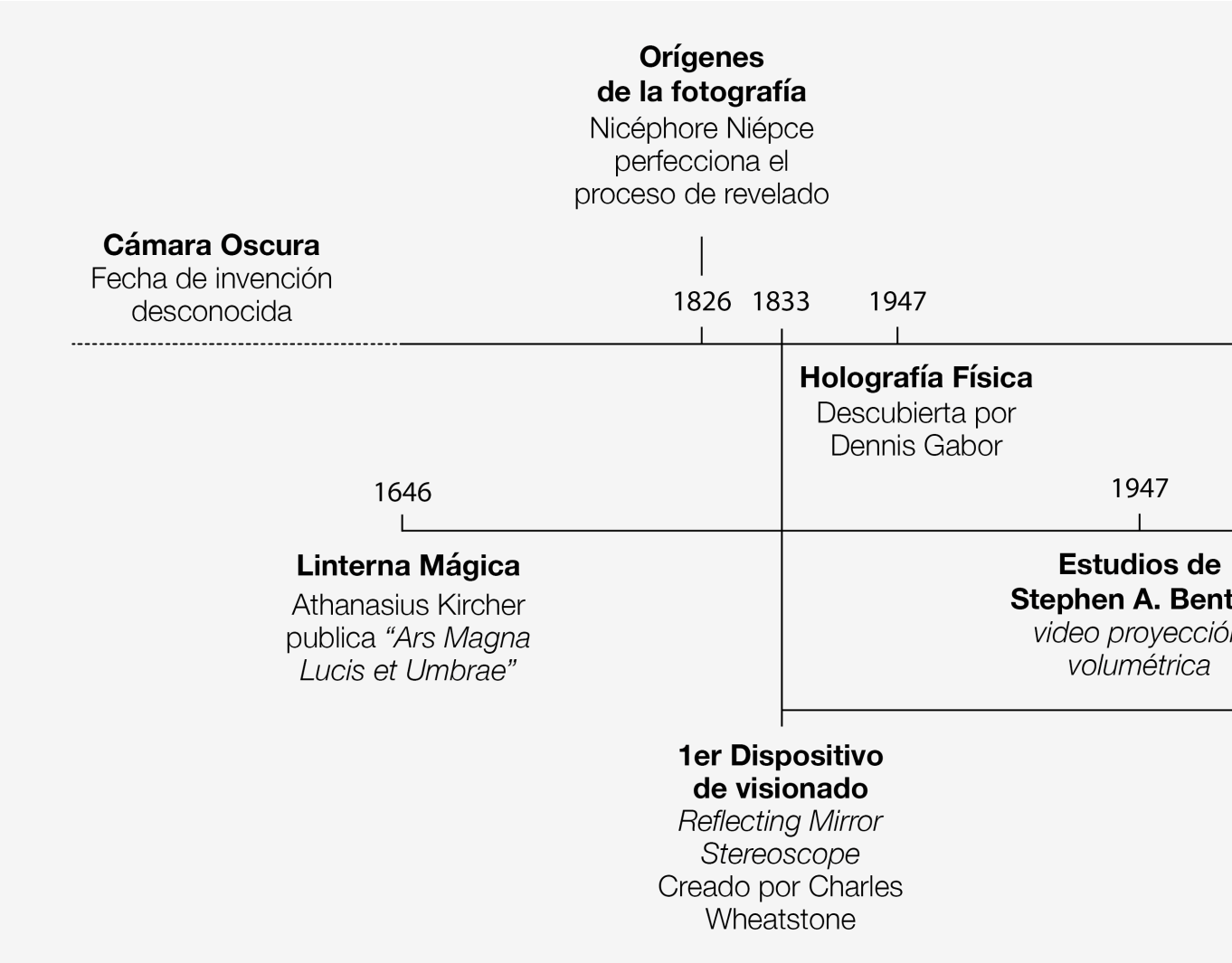
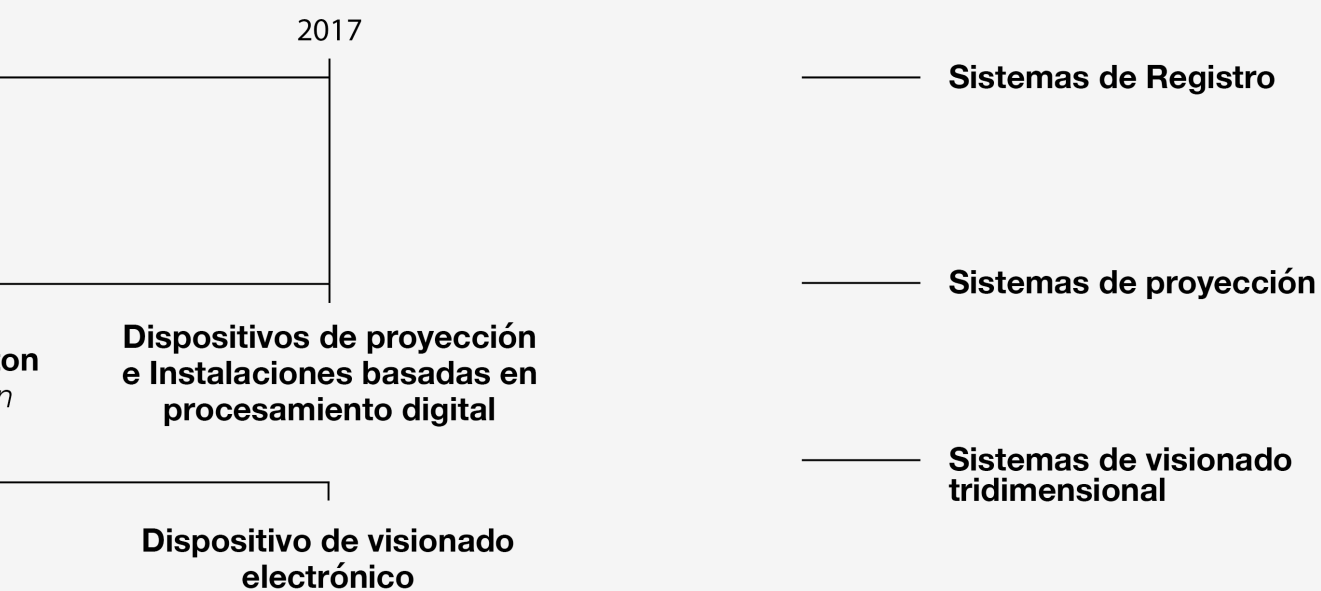


Fig. 9 Análisis cronológico de los sistemas de representación tridimensional



2.1 La imagen tridimensional: el efecto de profundidad en el arte

La imagen tridimensional es una imagen con sensación de profundidad, capaz de representar la tercera dimensión formando una ilusión gráfica. Para describir geométricamente sus dimensiones, cada una de las aristas debe posicionarse en el espacio. En concreto, las *dimensiones* (alto, ancho y profundidad) sirven para definir los tamaños y para determinar una situación en el espacio.

Las imágenes tridimensionales son realmente representaciones 2D en las que la tercera de las dimensiones es una ilusión.

Resulta oportuno puntualizar las causas que subyacen tras el nuevo enfoque descriptivo y representacional de las percepciones en el campo de la creación plástica y desde la perspectiva de la representación tridimensional. Dicha representación descansa sobre soportes bidimensionales que dan origen a notables avances a partir de la imitación fidedigna de la realidad.

Se puede reconocer una imagen bidimensional con la técnica de la **perspectiva**, en la que las líneas paralelas se convierten en convergentes en el llamado punto de fuga. Aunque el hombre, en su búsqueda de imitar la realidad, ha investigado otras posibilidades de conseguir efectos ópticos mediante técnicas de expresión artística como la construcción de figuras imposibles. La primera representación de este tipo que se conoce data de 1025 y aparece en algunas miniaturas de epistolario de Enrique II, que se conserva en la Bayerische Staatsbibliothek de Munich. Cuatro siglos después se produce el primer ejemplo de figura imposible en el arte realizado de forma deliberada. Se encuentra en La Grote Kerk de Breda, Holanda, y fue descubierta en una restauración de 1902. La escena representada, una Anunciación, muestra una habitación dividida en dos mitades por una columna roja con un capitel gris, estando la columna desplazada en la perspectiva, de tal manera que la parte superior de la columna y el capitel se encuentran en un primer plano y la parte inferior de la columna queda tapada por una mesa situada en el mismo plano que la



Fig. 10 Miniatura de epistolario de Enrique II. Realizada en el año 1025.



Fig. 11 Representación de la Anunciación. Considerada primera figura imposible.

parte superior de la columna. El pintor realizó este efecto con la intención de evitar que la columna del centro dividiese el cuadro, creando así una separación entre el Arcángel Gabriel y la Virgen María.

La **perspectiva anamórfica** es una imagen deformada que al ser observada desde un determinado ángulo, aunque en ocasiones resulte necesario emplear mecanismos o procesos científicos, muestra la imagen en sus dimensiones reales. Uno de estos mecanismos es la **fotografía integral** (también conocida como *Fly"s-eye lens* o *complete photography*), que consiste en una placa compuesta por una serie de lentes esféricas, capaces de grabar una imagen completa en todas las direcciones y que intenta imitar el sistema visual de los insectos³⁰. Esta técnica fue propuesta por el profesor de física

30. Cada ojo se compone de unas células microscópicas que no dan una imagen, sino una información puntual. Estas células se agrupan entre sí, formando un denso mosaico. En el sistema nervioso de los insectos se reúne toda la información, siendo en este punto donde, finalmente, se forma la imagen.

Gabriel M. Lippmann (1845-1921)³¹, el 3 de Marzo de 1908 propuso el empleo de una serie de pequeñas lentes convexas, con la finalidad de grabar en la superficie de la imagen en lugar de emplear las barreras verticales opacas que anteriormente se usaban.

A finales de 1920 varios científicos, Frederic Eugene Ives, Herbert Eugene Ives, Vanbenschoten, Doug Winneck y Maurice Bonnet, comenzaron a considerar la posibilidad de simplificar la lente matriz del sistema desarrollado por Lippmann mediante la incorporación de una gama de lentes lenticulares. Así pues, la matriz de una lámina lenticular, consiste en una serie de microlentes semicirculares, colocadas de forma paralela que al observarlas desde un determinado ángulo, ayudan a entremezclar ambas imágenes para crear un efecto de movimiento. Dichas imágenes se encuentran situadas detrás de la lámina, cortadas en tiras. La imagen lenticular es ópticamente análoga a la barrera de pantalla de paralaje (el primer método desarrollado por Bois Clair), y cuenta con un paralaje horizontal.

Las imágenes lenticulares comenzaron a popularizarse desde finales de 1940 hasta mediados de la década de 1980. Su aparición generó un nuevo medio de expresión, que ha estrechado una fuerte relación con la fotografía profesional y el mundo del diseño digital, que comenzó a reconocerla como una alternativa más en el ámbito publicitario, aunque curiosamente su actividad en la actividad artística no es notoria.

La creación de figuras imposibles de manera consciente es relativamente reciente, ya que fue en 1934 cuando Oscar Reutersvärd (1915-2002) creó el primer triángulo imposible. Posteriormente, Maurits Cornelis Escher (1898-1972) incluyó en su litografía *Belvédère* de 1958 el primer cuboide imposible de la historia del arte. Los

31. También a él se le atribuye la paternidad de la imagen lenticular moderna, aunque los primeros inventos para lograr efectos ópticos se remontan a 1692, año en el que el pintor francés GA Bois-Clair descubrió que podía lograr un efecto tridimensional sobre un lienzo por medio de una rendija, construida con listones verticales para poder observar las dos imágenes desde diferentes ángulos. Algunas de sus obras se encuentran en el castillo de Roseborg en Copenhage, otras se pueden ver en el museo de artes de Bruselas.

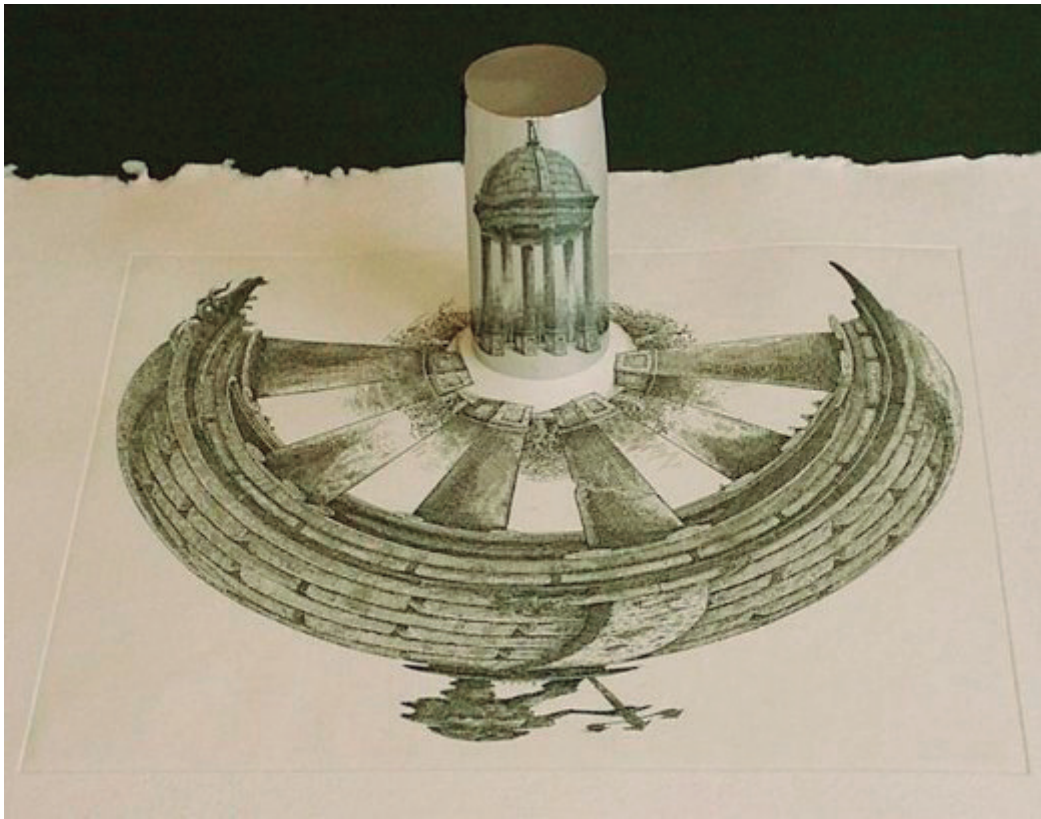


Fig. 12 Ejemplo de una perspectiva anamórfica con un espejo cilíndrico. Se trata de un grabado realizado por el artista húngaro István Orosz (1951-).

terceros pioneros de las figuras imposibles deliberadas fueron Lionel Sharples Penrose (1898-1972) y Roger Penrose (1931-), padre e hijo, si bien estos no plasmaron sus teorías en dibujos, sino que escribieron sobre ellas. A partir de sus artículos, Escher pintó primero su famosa obra *Escaleras arriba y escaleras abajo* en 1960 y al año siguiente, su *Cascada*³².

Asimismo, con respecto a la profundidad a partir del movimiento, la más conocida de sus variantes es la percepción de profundidad cinética, que permite percibir la estructura tridimensional de un objeto cuando este se mueve. Por ejemplo, si se observa la sombra producida por un objeto en rotación, se puede deducir la estructura

32. Ernst B. (2006) *Un Mundo De Figuras Imposibles*, Baarn (Países Bajos): Taschen GmbH

por el movimiento y formación de la sombra. También se obtiene información de profundidad a partir de objetos similares en movimiento, puesto que los más lejanos parecerán moverse más lentamente.

Un ejemplo en esta categoría se encuentra en el arte cinético, que alcanza la culminación y máxima expresión en el **Op art**. Este término fue acuñado en 1964 por el crítico de la revista *TIME* Jon Borgzinner, aunque ya surgió como término intencional en la década de los 20 con los hermanos Naum Gabo y Neemia Pevsner y con Moholy-Nagy. Los dos primeros hablaron de “ritmos cinéticos” en su *Manifiesto Realista* de 1920, mientras que el artista húngaro utilizó el término “arte cinético” en su manifiesto de 1922 *Sistema de Fuerzas Dinámicas Constructivas*. Vasarely, padre del Op Art, escribe la siguiente frase en su *Note pour un manifeste*: “poseemos por consiguiente el útil y la técnica y la ciencia para intentar la aventura plásticocenética”. Para él, la plástica cinética no consistía en dar movimiento a cualquier precio a los cuadros y a los objetos, sino que buscaba expresar una concepción generosa de la plástica con el movimiento como vehículo.

Continuando con la descripción del arte cinético, resulta conveniente detallar que se trata de un arte esencialmente no figurativo, compuesto generalmente por datos formales que funcionan a modo de signos. Así pues, suelen ser frecuentes las tendencias geométricas en las que se engloban estos signos. Otro concepto muy característico del arte cinético es el de tensión polifocal, que define a las tensiones provocadas por los diversos planos, que provocan cada situación estructural pueda considerarse como un punto central. La utilización de estructuras de repetición encerradas dentro de un orden, las permutaciones y los llamados sistemas interrumpidos son también características habituales del arte cinético.

Técnicamente se puede definir a este arte como inminentemente racional, basado en estudios previos a la realización de la obra y no en simple intuición. Como el Constructivismo y la Bauhaus, defienden que el artista debe ser también técnico, haciendo hincapié en la idea del cientifismo en el campo artístico. Otros conceptos

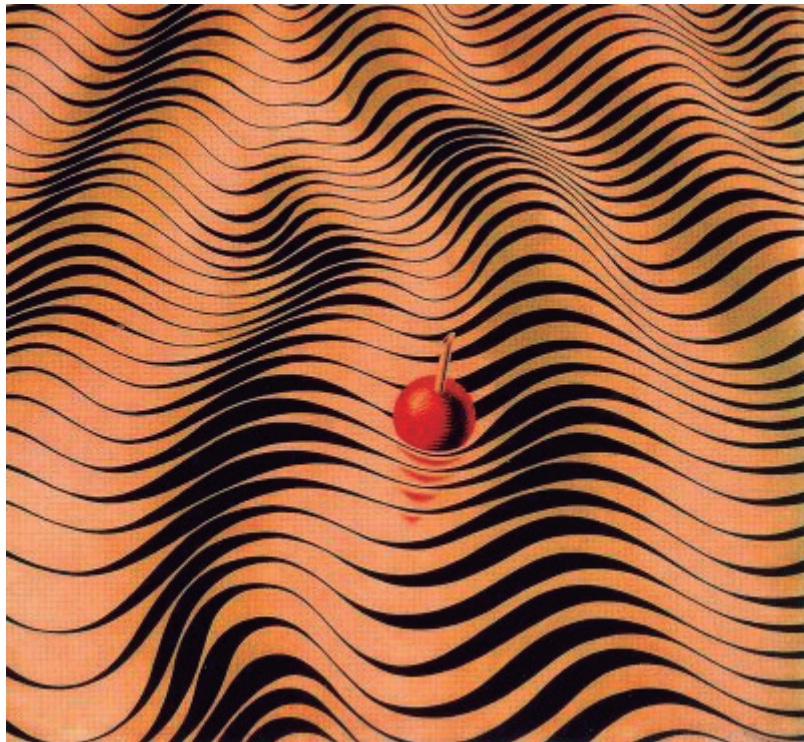


Fig. 13 *Étude de mouvement* (1939), obra de Víctor Vasarely. Las líneas curvas sobre el fondo marrón dan sensación del movimiento de las olas. Como punto de atención, en el centro, se encuentra una veleta de pesca en color rojo, que parece, que está flotando sobre estas líneas curvas.

importantes dentro del arte cinético son la combinatoria (utilización de sistemas seriados, permutaciones y repeticiones intermitentes de signos), la simetría (que hace referencia a las relaciones de situación de cada uno de los signos, como las operaciones de traslación y rotación) y la estadística (término referido a las frecuencias de cada signo).

Se habla de dos tipos de movimiento dentro del arte cinético: el movimiento virtual y el movimiento real. Al primero podemos definirlo más como una experiencia mental y física que como una realidad externa. Es el espectador quien reacciona ante la complejidad estructural de la obra. Algunos ejemplos de movimiento virtual son: las figuras imposibles, los efectos de postimagen o el efecto de muaré. Las vías de las que se vale el artista para conseguir los efectos de movimiento virtual tienen que ver con la redundancia informativa en la obra y la repetición de elementos. El espectador

de una obra de movimiento virtual no es un mero agente pasivo ya que, mediante su desplazamiento, acrecienta la inestabilidad de la propia obra. Una característica de este tipo de movimiento es que, cuanto más corta sea la distancia entre los elementos simples más intensa será la sensación. Otro hecho característico que lo estimula es la ausencia de puntos de fijación.

Básicamente, el movimiento real se divide en espacial y en no espacial. Con respecto al primero cabe destacar los móviles y las obras movidas con motor, que se caracterizan por reflejar una modificación espacial perceptible. El segundo, por el contrario, se caracteriza por ser otras variables las que producen el cambio (color, luminosidad, textura, etc.)

Entre los precedentes que influyeron en el arte cinético destacan el futurismo italiano y las obras de Marcel Duchamp (1887-1968) que reflejan el movimiento. Boccioni, pintor y escultor que fue el máximo exponente del futurismo, declaraba que en escultura como en pintura no se puede renovar si no es buscando el estilo del movimiento.³³ En Duchamp dos obras son de importancia capital: *Desnudo bajando la escalera*, y la serie *Rotorelief*. En la primera obra, expresa el movimiento por medio de la visión simultánea. Busca captar el movimiento completo al mismo tiempo que la figura entera, mediante transparencias de gran sutilidad y multiplicación de la misma figura. Duchamp también realizó una obra considerada precedente del movimiento real, a la que bautizó como *Optique de précision*, y a la que definía de la siguiente manera:

Esa fue, efectivamente una de las primeras cosas que hice al llegar a Nueva York. Una serie de cinco placas de vidrio sobre las cuales había trazado líneas blancas y negras, que giraban sobre un eje metálico; cada placa era mayor que la siguiente y cuando se miraba desde un cierto punto, todo encajaba y constituía un solo dibujo. Cuando giraba el motor las líneas hacían el efecto de círculos continuos blancos y negros, muy vaporosos, como puede imaginarse.³⁴ (Duchamp, M.1972. p. 99)

33. Boccioni, U., *La escultura futurista*, en Archivi del Futurismo, Roma, 1958, pag. 70. Publicado en Lacerba, núm. 13, 1913.

34. Cabanne, Pierre, *Conversaciones con M. Duchamp*, Barcelona, 1972, pág. 99.

Otro precedente del movimiento real fue el *Monumento a la III Internacional* de Vladímir Tatlin (1953-), diseñado en 1919 y que, a diferencia del ingenio de Duchamp no llegó a realizarse. Consistía en una gran espiral metálica que giraba sobre sí misma y funcionaba como emisor de noticias y señales. Las espirales que la formaban se hallaban inclinadas dinámicamente sobre una diagonal, lo que convertía al artilugio, en un conjunto de gran dinamismo visto por el espectador. Gabo y Pevsner, junto con el propio Tatlin, sirvieron de engranaje entre el Constructivismo ruso y el arte Cinético. Gabo realizó en 1920 la obra *Volumen Virtual Cinético*, una escultura hecha en acero con un motor en su base que le confería una vibración técnica. Un año antes, Gabo había empezado a utilizar la estereometría elemental en sus investigaciones plásticas.

Otro nombre clave en los albores del arte cinético, Moholy Nagy, construyó en 1929-30 su *Lichtrequisit* o *Máquina luminosa*, escultura en la cual superficies reflectantes se hallan en continuo movimiento. Tenía un motor en la base y bombillas de colores controladas por una bobina que creaban en el conjunto un complejo espectáculo luminoso.

Cuando nos alejamos de las tácticas en la plástica para recrear la tridimensionalidad, entra en escena los avances en el desarrollo de las tecnologías que han facilitado la interacción con imágenes tridimensionales, permitiendo al usuario rotar alrededor de un objeto. Así pues, los formatos gráficos generados por *software* se originan mediante un proceso de cálculo matemático, a partir de variables y coordenadas en el espacio, lo que permite crear objetos tridimensionales, componer escenas e iluminarlas.

2.2. La mirada objetiva: Historia de la Imagen Tridimensional

Fue en la antigua Grecia cuando se empezó a reconsiderar la teoría de la visión binocular, intentando responder a cómo podíamos percibir una imagen. Los modelos planteados por los filósofos se basaban en la idea de que los rayos luminosos se emiten desde el ojo hacia los objetos visualizados.

Sin embargo, en la Edad Media las teorías griegas se descartaron con el Tratado Óptico del matemático Alhacén (c. 965 – c. 1040), libro en el que se describe la imagen como formada en la retina humana por acción del cristalino que demuestra que los objetos son los que emiten los rayos luminosos.

El profesor e investigador Dr. Manuel Carlos Fernández, especialista en la tecnología de los Medios Audiovisuales en la Facultad de Comunicación de la Universidad de Sevilla, en su obra académica *La imagen tridimensional*, recoge en seis capítulos un análisis cronológico acerca de la historia de la imagen tridimensional, situando el origen de las holografías en movimiento ya en las pinturas rupestres. Aunque hay otros historiadores que señalan su nacimiento en la práctica pictórica de la *perspectiva lineal*. Esta técnica conocida como perspectiva trata de representar un modelo natural, cuidando la posición relativa del sujeto a escala, e intenta reflejar un efecto de profundidad. En este sentido, Fernández Sánchez (2000) expone en su artículo *Imágenes en tres dimensiones* lo siguiente: “*La humanidad, desde su propio nacimiento, ha pretendido representar las imágenes de su alrededor en forma tridimensional.*” (p.1)

La perspectiva ha formado parte de análisis utilizados para demostrar procedimientos y descubrimientos una vez han sido hallados. Esta forma de representar surgió en el siglo XV, cuando se empezaron a permitir las disecciones humanas en la ocupación científica.

Uno de los primeros en agregar imágenes en sus descripciones fue el físico e inventor Guido da Vigevano³⁵ (alrededor de 1280, alrededor de 1349), que en su cuaderno de bocetos *Texaurus regis Francie* mostraba elementos tecnológicos y análisis anatómicos del estado medieval, aunque las imágenes aún se mostraban sin perspectiva.

En el siglo XV surgió un carácter científico entre los pintores del Renacimiento. Este hecho condujo al desarrollo de la capacidad ilusionista a través de la perspectiva.

Leonardo da Vinci (1452-1519) incidía en el enfoque visual, tanto al abordar su actividad pictórica como al interpretar el mundo desde un punto de vista científico. Como artista arrancó sus exploraciones de la *ciencia pictórica* con el estudio de la perspectiva. Investigó el modo en que la luz, la distancia y las condiciones atmosféricas influyen en la apariencia de los objetos. Este estudio lo realizó desde una doble vertiente: primero, explorando la interrelación entre la luz y la sombra, es decir, la verdadera naturaleza de la primera y la geometría de los rayos lumínicos. Por otro lado, se centró en la fisiología de la visión y del órgano que la lleva a cabo, el ojo, a la vez que analizaba el trayecto de las impresiones visuales a través del nervio óptico hasta llegar a lo que llamó *sede del alma*. En la obra *Cuaderno de notas* (2003) podemos ver recogidas apreciaciones de Leonardo da Vinci como la siguiente:

El ojo, que es la ventana del alma, es el órgano principal por el que el entendimiento puede tenerla más completa y magnífica visión de las infinitas obras de la naturaleza. ¿No vemos acaso que el ojo abarca la belleza de todo el universo...? Asesora y corrige todas las artes de la humanidad... Es el príncipe de las matemáticas, y las ciencias que en él se fundan son absolutamente ciertas. Ha medido las distancias y la magnitud de las estrellas.
Ha descubierto los elementos y su ubicación... Ha dado a luz la arquitectura, la perspectiva y al divino arte de la pintura. (pp. 51-52)

35. Inventor italiano, conocido por ser el físico personal de la reina Juana I de Navarra. Es interesante conocer su cuaderno de bocetos *Texaurus regis Francie*, representa un número de elementos tecnológicos de la época medieval.

Después de sus primeras notas referentes a la percepción en el *Códice Trivulziano*, Leonardo se introdujo de lleno en los estudios de la anatomía del ojo y de los nervios ópticos. Por entonces, el genial artista había comenzado a asimilar la geometría de la perspectiva lineal y la de la luz y la sombra, algo que se refleja plenamente en sus obras pictóricas de la época³⁶.

En 1490, el encuentro de Leonardo con el matemático Fazio Cardano (1444-1524) en la Universidad de Pavía suscitó en el maestro florentino un creciente interés por las matemáticas aplicadas a la perspectiva y a la óptica. Ambos eruditos mantuvieron largas reuniones en las que analizaban sus conocimientos y conclusiones relacionados con la perspectiva lineal y la óptica geométrica, los dos pilares de lo que se conoció como *ciencia de perspectiva*. De estas reuniones, Leonardo extrajo cuantiosos apuntes en los que incluyó numerosos diagramas de óptica geométrica.

Da Vinci se valió de las pirámides de línea, muy utilizadas en la óptica y la geometría de la Edad Media, con la finalidad de dilucidar cómo variaba la medida en que la imagen de un objeto en el cristal disminuye con la distancia del mismo con respecto al ojo: *“Es posible seguir la pista de estos a través de pirámides hasta el punto el ojo, y las pirámides se entrecruzan sobre el mencionado cristal.”*³⁷

Modificando las tres variables (altura del objeto, distancia respecto al ojo y distancia entre el ojo y el cristal vertical) de manera que se produjeran todas las combinaciones posibles, postuló que la altura de la imagen en el cristal es inversamente proporcional a la distancia del objeto con respecto al ojo, siempre que se mantenga constante la distancia entre el ojo y el cristal.

36. En la *Adoración de los Magos* y *La Virgen de las Rocas*, queda patente esta exploración de la perspectiva lineal y de la luz y la sombra.

37. Da Vinci L. *Manoscritti dell'Institut de France*, Giunti, Florencia, 1986-1990

Con anterioridad a las aportaciones de Leonardo, los arquitectos Filippo Brunelleschi (1377-1446) y Leon Battista Alberti (1404-1472) habían sido los primeros en hablar de la perspectiva lineal como técnica matemática para representar imágenes tridimensionales en un plano bidimensional. El propio Alberti definió a la pintura como algo que debía dar la impresión de ser una ventana a través de la cual el artista contempla el mundo visible. Esto suponía adecuar el tamaño de los objetos representados conforme a la distancia a la que se encontraban, haciendo converger después todas las líneas de visión en el punto de fuga, un único punto central que coincide con el punto de vista del espectador. Esta geometría de la perspectiva de los arquitectos florentinos supuso la primera concepción científica del espacio tridimensional.³⁸

Partiendo de las teorías de Alberti, Leonardo afirmó que *“la perspectiva no es otra cosa que la visión de un lugar a través de un cristal plano y completamente transparente en cuya superficie han de representarse los objetos que se hayan detrás de él.”*³⁹

Sin embargo, Leonardo, que utilizaba con soltura las reglas de la perspectiva de Alberti, acabó por darse cuenta de que estas eran demasiado restrictivas y contradictorias a la hora de realizar sus pinturas. El ejemplo más claro fue la refutación de la norma de Alberti que afirmaba que el horizonte geométrico de una pintura debía estar a nivel de los ojos de las figuras pintadas, con el objetivo de crear la ilusión de continuidad entre el espacio imaginario y el de los espectadores. En *La Última Cena*, Leonardo jugó con las contradicciones de las reglas de Alberti para crear complejas ilusiones, demostrando que las teorías del arquitecto florentino no habían tenido en cuenta que el punto de vista de los espectadores nunca era el adecuado para la buscada ilusión de continuidad. Este hecho venía condicionado por la circunstancia de que la ubicación de la mayoría de las obras pictóricas era muy superior a la altura de sus observadores.

38. Ackerman J. (1969) *Science and Art in the Work of Leonardo*, en O'Malley.

39. Da Vinci L. *Manoscritti dell'Institut de France*, Giunti, Florencia, 1986-1990.

Después del punto de vista innovador con el que creó las complejas ilusiones de la última cena, Leonardo tomó como referencia la visión natural binocular humana para echar por tierra la teoría simplista de Alberti con respecto a la perspectiva, a la que definía de la siguiente manera, "*La perspectiva no es otra cosa que un conocimiento riguroso de la función del ojo.*" ⁴⁰ (p.61)

Contraponiendo la visión binocular de dos ojos móviles al ojo único y fijo de la geometría de Alberti, Leonardo investigó las trayectorias de las impresiones sensoriales, añadiendo la variable de la influencia de las condiciones atmosféricas en la percepción visual. A partir de estos estudios, a los que agregó otros sobre la anatomía del ojo y la fisiología de la visión, elaboró una teoría de la perspectiva muy superior a la de mayoría de artistas del Renacimiento.

Hay tres clases de perspectiva: la primera concierne a la razón del empequeñecimiento de las cosas a medida que se alejan del ojo. La segunda, contiene en la manera en que los colores varían a medida en que se alejan del ojo. La tercera y última, enuncia que los objetos deben parecer menos definidos cuanto más lejos estén." Capra, Fritjof. (2008: 61) *La ciencia de Leonardo. La naturaleza profunda de la mente del gran genio del Renacimiento.*

Leonardo llamó al primer tipo perspectiva lineal, al segundo *perspectiva del color* y al tercero *perspectiva de la desaparición*. Todo pintor que quisiera dominar su técnica, debería según el propio Da Vinci dominar estos tres tipos de perspectiva, además de una cuarta *perspectiva aérea* relativa a los efectos atmosféricos de los colores. A medida que el objeto se aleje, su imagen deberá disminuir en el sentido de todos los tipos de perspectiva a la vez: el tamaño decrecerá, el color se difuminará y los detalles perderán definición, hasta que las tres cosas "desaparezcan" en el punto de fuga.

Al mismo tiempo que investigaba la perspectiva y la interrelación de luz y sombra, Leonardo estudió las trayectorias de los rayos de luz dentro del ojo; para ello, se centró en los aspectos anatómicos del ojo y en la fisiología de la visión.

40. Da Vinci L. *Manoscritti dell'Institut de France*, Giunti, Florencia, 1986-1990.

De hecho, en el Renacimiento existía una doble teoría acerca de la localización exacta del vértice de la pirámide visual en el ojo. Alberti y sus partidarios, entre los que, en un principio, se encontraba Leonardo, ubicaban dicho vértice en un punto geométrico en el centro de la pupila, sin tener en cuenta la fisiología real de la visión. El gremio de los filósofos, sin embargo, afirmaba que la facultad visual del ojo debía residir en un área finita antes que en un punto infinitamente pequeño, tal como postuló Alhazen. Tras la sofisticación progresiva de sus investigaciones sobre la perspectiva y la anatomía del ojo, Leonardo adoptó el punto de vista de Alhazen. Incluso llegó a decir que *“Si todas las imágenes que llegan al ojo convergieran en un punto matemático, que, como está demostrado, es indivisible, todas las cosas que se ven en el universo deberían aparecer como una sola, y esta sería indivisible.”*⁴¹ Capra, F. (2008: 304)

Posteriormente, Da Vinci afirmó que todas las partes de la pupila poseen la facultad de visión, y que esta facultad no se reducía a un punto, como defendían los perspectivistas. A raíz de sus últimos estudios vinculados con el tema, Leonardo diferenció entre dos tipos de perspectiva: una perspectiva utilizada por el arte que es una técnica geométrica para representar sobre una superficie plana objetos situados en el espacio tridimensional, y una perspectiva producida por la naturaleza que requiere una auténtica ciencia de la visión para ser comprendida.

Dicha ciencia de la visión exigía sustituir el vértice geométrico de la pirámide visual en el ojo por trayectorias más complejas de las impresiones sensoriales. Por ello, Leonardo buscó estas trayectorias atravesando el globo ocular desde el cristalino hasta el nervio óptico, para después, continuar por el nervio óptico hasta el cerebro, donde se hallaría lo que él había conceptualizado como la *sede del alma*.

41. Da Vinci L. *Manoscritti dell'Institut de France*, Giunti, Florencia, 1986-1990.



Fig. 14 Portada de *Oculus hoc est fundamentum opticum*, de Christopher Scheiner, Innsbruck, 1619.

En la época inmediatamente anterior a Leonardo, la filosofía natural defendía que los ojos emitían rayos visuales que volvían al propio ojo tras ser reflejados por los objetos percibidos. Fue Alhazen el primero en contradecir esta teoría, enunciando que la visión se iniciaba en el momento en que las imágenes visuales, trasportadas por los rayos lumínicos, entraban en el ojo. Da Vinci fue firme defensor de esta teoría, según la cual puntualizó “Si miras el sol u otro cuerpo luminoso y luego cierras los ojos, volverás a verlos de modo semejante dentro del ojo durante un largo intervalo de tiempo. Esta es la evidencia de que las imágenes entran en el ojo.” Códice Atlántico, Folio 345r extraído de Capra, F. (2008: 309)⁴²

42. Esta nota ha sido extraída del libro titulado *La ciencia de Leonardo. La naturaleza profunda de la mente del gran genio del Renacimiento*, bajo el autor Fritjof Capra (obra citada en la bibliografía).

Además, el hecho de intuir por primera vez la doble inversión consecutiva de los rayos de luz dentro del globo ocular para restituir la posición inicial de la imagen, también se le atribuye a Leonardo. Según su teoría, la primera inversión se produce entre la pupila y el cristalino que, como una cámara oscura, pone la imagen al revés. Posteriormente, los rayos entran en el cristalino para ser nuevamente invertidos, dando como resultado una imagen en posición correcta. El genio italiano también fue pionero a la hora de distinguir visión central y periférica. A raíz de esta diferenciación, se le abrieron las puertas para ser el primero en explorar la visión binocular, que es la manera en la que vemos estereoscópicamente las cosas mediante la fusión de las imágenes diferentes del campo visual que se forman en uno u otro ojo. Su procedimiento para experimentar con la visión binocular consistió en colocar objetos de tamaños variados a diferentes distancias de los ojos para luego mirarlos alternativamente con el ojo derecho, el izquierdo y con los dos a la vez. Como conclusión escribió *“Se percibe con claridad como uno y el mismo objeto el que es percibido por dos ojos concordantes, que remiten el mismo a uno y el mismo punto dentro de la cabeza (...) Pero si deformas uno de los ojos con el dedo, comprobarás que un objeto percibido se convierta en dos.”* Códice Atlántico. Estudios anatómicos, folio 115r extraído de Capra, F. (2008: 312)⁴³

Leonardo conoció a través de varios pensadores europeos la *Óptica* de Alhazen, un tratado en el que este matemático árabe analizaba pormenorizadamente tanto la visión como la anatomía del ojo. En este libro pudo instruirse en las leyes de la reflexión y la refracción, que le sirvieron para desarrollar sus trabajos en el campo de las lentes y la teoría de la óptica. En sus incursiones en este ámbito, fue capaz de demostrar novedosas teorías relacionadas con la incidencia de la luz en las lentes. Estos descubrimientos le llevaron a concebir una visión única sobre los efectos de la luz que choca en los objetos y la naturaleza de diferentes tipos de sombras. Para Leonardo, la sombra es el elemento central en la ciencia de la pintura, puesto que permite dar

43. Esta nota ha sido extraída del libro titulado *La ciencia de Leonardo. La naturaleza profunda de la mente del gran genio del Renacimiento*, bajo el autor Fritjof Capra (obra citada en la bibliografía).

relieve a cuerpos pintados que surgen del fondo de una representación pictórica.

Aunque no se sabe con seguridad quién es el artífice del invento de la *cámara oscura*, se puede decir que pudo originarse gracias a las observaciones de Alhazen. La cámara oscura consistía en un cuarto oscuro cuya única fuente de luz era un minúsculo orificio en una de las paredes. La luz que penetraba en ella proyectaba una imagen del exterior en la pared opuesta, aunque la imagen formada resultaba borrosa e invertida. Utilizando este mismo principio de la cámara oscura, Leonardo probó que, algo aceptado en su momento, la luz era emitida por objetos luminosos en líneas rectas.

Su forma evolucionada se le atribuye a Giambattista della Porta, que desarrolló su actividad a finales del siglo XVI, siendo considerado una de las figuras más importantes en el pensamiento científico moderno. En su obra *De la magia natural* se encuentran reunidos numerosos ensayos científicos y observaciones experimentales, en la que se expone un estudio para perfeccionar este sistema. Incluyó en su desarrollo una lente convexa que imitaba la función del cristalino, lo que le permitía enfocar objetos situados a diferentes distancias.

En este sentido, la representación de la imagen visual en un soporte bidimensional fue un arduo trabajo que se desarrollaba de forma lenta y artesanal. En la antigüedad, las personas que eran capaces de realizar una representación fidedigna de la realidad, se les ha distinguido como poseedores de una especie de “don divino”, lo que les ha permitido obtener ciertos privilegios (reconocimiento social y su prestigio como artista). El aprendizaje que desarrollaron estos artistas fue transmitido a otros discípulos (esto último explicar mejor).

Por aquel entonces, los artistas se apoyaban de aparatos ópticos, que podrían considerarse como las nuevas tecnologías de la época.

Ejemplo de ello es el que expone David Hockney⁴⁴ (1937-). Este pintor británico presentó en el *Greenwich Village campus* de la Universidad de Nueva York (2001), las conclusiones de su Tesis acerca de la utilización de la óptica en la pintura desde el inicio del Renacimiento fruto de la investigación llevada a cabo en colaboración con el físico Charles Falco (1948-) profesor de Óptica de la Universidad de Arizona.

A raíz de esta conferencia la teoría de Hockney tuvo una gran repercusión entre los historiadores, críticos de arte, científicos, y pintores. Como consecuencia de ello, se publicó en el mismo año *Conocimiento Secreto*, en inglés *Secret Knowledge*. En su obra plantea que muchos artistas occidentales de comienzos del siglo XV, utilizaron la óptica, espejos y lentes, o una combinación de ambos, para crear proyecciones vivas.

Algunos artistas usaron estas imágenes proyectadas de manera directa para realizar dibujos y pinturas, para conseguir un estilo fotográfico, esta manera de representar fue rápidamente difundida por toda Europa.

Según Hockney, a partir de la década de 1420, en la Europa medieval y renacentista, los artistas utilizaron diversos dispositivos ópticos con el fin de conseguir un mayor realismo en sus pinturas. Sin embargo, dicha técnica no fue revelada y fue mantenida en secreto hasta que se filtró en algunos talleres italianos. Los dispositivos en cuestión serían, en un primer momento, espejos cóncavos, lentes y cámaras oscuras y con posterioridad, la cámara lúcida.

En la pared de su taller de California, colgó fotocopias a color, para obtener una visión general del arte occidental, quinientos años en 21 metros de longitud, y realizó diferentes pruebas con diferentes combinaciones de espejos y lentes, de esta manera recreaba los sistemas que los artistas empleaban en aquella época. Para ello necesitó la ayuda del óptico Charles Falco, quien realizó detallados cálculos, basados

44. David Hockney fue un importante contribuidor del movimiento de Arte Pop en la década de 1960, es considerado uno de los artistas británicos más influyentes del siglo XX.

en el uso de artefactos ópticos en la pintura, proporcionaron datos científicos que sirvieron para respaldar sus argumentos.

Empecé a observar la evolución de los tejidos, en las pinturas de Giotto representa los tejidos de un modo simple y gráfico, en cambio Pisanello muestra una manera más exacta en los pliegues y en los toques de luz y sombras... También se observa en las armaduras a lo largo de dos siglos. En las primeras se observa armaduras desmañadas, mientras que en las otras los reflejos en el metal son estilizados. (Hockney D. 2001. p.36)

Hockney se preguntaba como se había producido este cambio, este avance en el naturalismo y no encontró respuesta a la destreza artística. A diferencia con la invención de la perspectiva lineal analítica del siglo XV, este mecanismo permitía marcar con exactitud, las degradaciones de los pliegues de los tejidos o arrugas del rostro, las tonalidades o los brillos de las armaduras.

La curiosidad de Hockney se despertó cuando asistió a la exposición de los retratos del pintor francés Jean Auguste Dominique Ingres (1780-1867) en la National Gallery de Londres en 1999. En ellos, encontró varias singularidades, la primera era que la proporción de la cabeza era demasiado pequeña e innatural con respecto al resto del cuerpo, y lo segundo, era la rapidez con la que se habían realizado, Además, no hay signos de indecisión, normalmente hay tanteos de líneas cuando el ojo del artista calcula lo está percibiendo del modelo mientras dibuja.

Al hilo de estas apreciaciones, se recogían las siguientes impresiones hechas por David Hockney en un documental emitido por la BBC y titulado *El conocimiento secreto: "Me sorprendió los pequeños que eran los dibujos, y no obstante, tan misteriosamente exactos. Sé lo difícil que es lograr tal precisión, y me pregunté cómo lo había hecho."*

El retrato de *Madame Louis-Francois Godinot* (1829) fue realizado al mismo tamaño exacto de la imagen verdadera. Para Hockney es evidente, que el retrato contiene indicios visuales que sugieren el empleo de una cámara lúcida o un instrumento creado en 1806.



Fig. 15 Retrato de *Madame Louis-Francois Godinot* (1829) por Jean Auguste Dominique Ingres.

La cámara lúcida fue patentada en 1806 por el óptico, médico, químico y fisiólogo británico William Hyde Wollaston (1776-1828). Su nombre procede del latín, con el sentido de *habitación iluminada* o *cámara clara*, realiza una superposición óptica del tema que se está viendo y de la superficie en la que el artista está dibujando. El artista ve las dos escenas superpuestas, como en una fotografía que se haya expuesto dos veces. Esto permite al artista transferir puntos de referencia de la escena a la superficie de dibujo, ayudándole así en la recreación exacta de la perspectiva.

En la forma más simple de la cámara lúcida, el artista mira hacia la superficie de dibujo a través de un espejo semi transparente inclinado 45 grados. Esto superpone la visión directa del dibujo de la superficie y el reflejo de una escena horizontal en

frente del artista. El instrumento a menudo incluye una lente negativa débil, creando una imagen virtual de una escena de más o menos la misma distancia de la superficie de dibujo, de forma que ambas se pueden ver bien enfocadas simultáneamente.

Este aparato de medición, era además portátil y funcionaba con cualquier condición lumínica. Su empleo requería un estudio lento y prolongado, que consistía en una manera de fijar las sucesivas observaciones momentáneas. Pero no sólo prestaba ventajas, Hockney encontró unas deficiencias en este sencillo sistema. No podía estar todo enfocado al mismo tiempo. Se tenía que volver a enfocar para realizar otras partes de la imagen. El problema residía en que al volver a enfocar, cambia la ampliación, causando una ligera distorsión.

Un ejemplo lo encontramos en los tapetes de las pinturas de Hans Memling y Hans Holbein. *“Es probable que pintara en la parte de delante, y luego debido a los problemas de profundidad de campo, volviera a enfocar su lente antes de pintar la parte de atrás, de ahí un segundo punto de fuga.”* (Documental emitido por la BBC y titulado *El conocimiento secreto*). Hockney no pretende atacar el ingenio del artista. *“La óptica no hace marcas, sólo la mano del artista puede hacerlas.”* En esta frase se aprecia cómo Hockney deja caer toda la responsabilidad sobre el artista.

Entre los siglos XVII y XIX, existe otro artilugio que tuvo una significativa trascendencia cultural, debido a las posibilidades didácticas y su aplicación a las ciencias. Se trataba de la linterna mágica, un artefacto que había sido diseñado con la finalidad de proyectar imágenes. Gozó de gran privilegio en los gabinetes de física experimental que se inauguraron en las universidades europeas, durante la segunda mitad del siglo XVIII. Además, a partir de esta época, tuvo lugar el florecimiento de una industria de equipos, que pudo responder a una variada demanda de prácticas de consumo y que promovió sistemas expresivos, como la cinematografía y las artes audiovisuales.

Athanasius Kircher (1601-1680) tras examinar varios experimentos llevados a cabo con aparatos de diseño propio, expone en el libro décimo *Ars magna lucis et umbrae*

cómo los principios ópticos de la linterna mágica y la cámara oscura son reversibles.

Así pues, Kircher explica la forma de producir una imagen en una cámara oscura. Según él, el espacio exterior debe estar iluminado, mientras que el interior debe estar oscuro. Sin embargo, este orden se encuentra invertido en la linterna mágica. Es el espacio interior el iluminado, mientras que el exterior tiene que conservar la oscuridad. Por tanto, el sentido de la dirección de la luz en la cámara oscura se mueve hacia el centro (centrípeto), mientras que en la linterna mágica la luz se expande o se aleja del centro (centrífugo).

Con respecto a los aspectos físicos del espacio interior, es una pantalla el elemento empleado en la cámara oscura para captar la imagen; mientras que en la linterna mágica se hace uso de una lámina para proyectar el motivo.

Existe una hipótesis que hace referencia a la primera linterna mágica, pero aún no ha sido confirmada puesto que su descripción no es reflejada en ninguna de las ediciones del *Ars magna lucis et umbrae*. Algunos autores como Millingham (1945), o Staehlin (1981), argumentan que la proyección de imágenes pudo ser empleada en sus clases del Centro de Estudios Superiores de los Jesuitas en Roma, a través de un aparato con forma cilíndrica y lente usada como condensador. Dicha lente proyectaba, ampliadas a través de una pantalla, imágenes que habían sido pintadas con colores translúcidos sobre finos trozos de vidrio.

Aún así, antes de 1671, año en el que se publicó la primera edición de *Ars magna lucis et umbrae*, existe un testimonio que confirma el empleo de la linterna mágica en uno de los manuscritos del matemático, físico y astrólogo holandés Christiaan Huygens. En el citado manuscrito se reflejan unas diez figuras macabras que podrían haber servido de bocetos para confeccionar mediante el método de superposición de dos láminas de vidrio: una fija, representaría el esqueleto con ausencia de cráneo y brazo derecho; y otra móvil que figuraría el cráneo y el brazo correspondiente. En la biblioteca de la Universidad de Leiden se conserva el original. Está editado por la

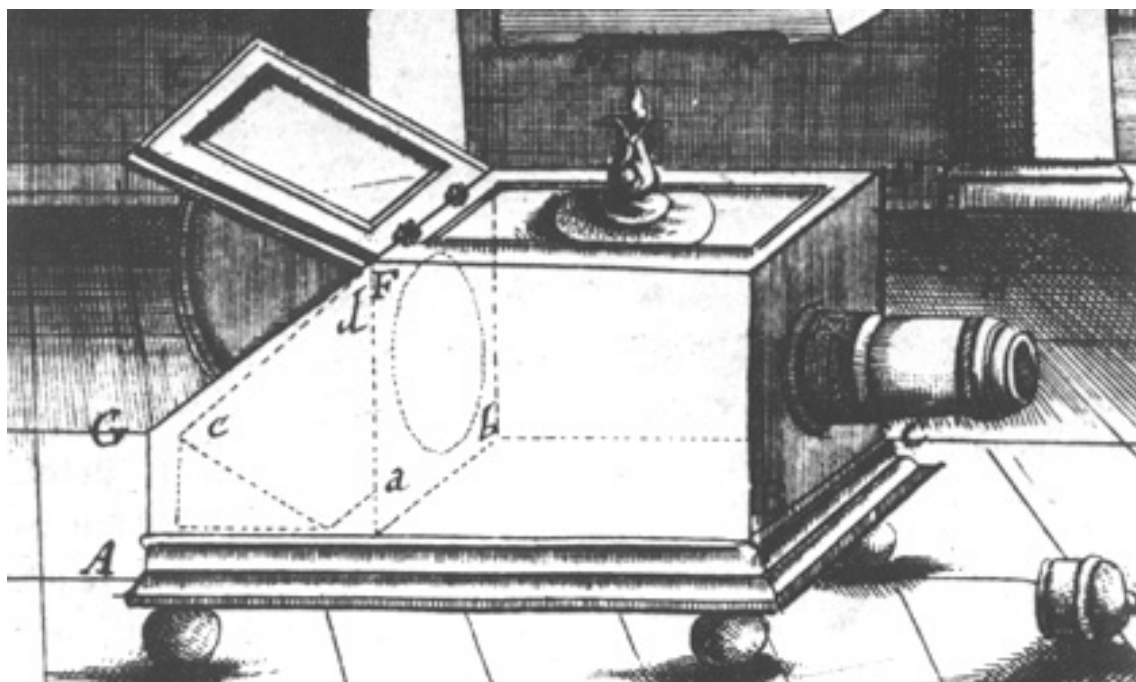


Fig. 16 Una de las primeras ilustraciones que se conocen de la cámara oscura de caja, se encuentra en la obra más prolífica *Oculus Artificialis Teledioptricus Sive Telescopium* (Würzburg, 1685), fue escrito e ilustrado por el escritor alemán Johann Zahn (1631-1707). Esta obra contiene numerosas descripciones e ilustraciones tanto de la cámara oscura como de la linterna mágica, y representó una gran evolución en la historia de la cámara fotográfica, ya que la pantalla podía permanecer oscura mientras el operador cambiaba la diapositiva.

Société Hollandaise des Sciences, entre 1888 y 1950, en La Haya y publicado en el libro XXII de sus *Oeuvres completes*.

En 1686, el monje y escritor alemán Johann Zahn (1631-1707) ilustraba en su obra *Oculus Artificialis Teledioptricus Sive Telescopium* (Würzburg, 1685) varios tipos de cámaras ópticas portátiles de tamaños suficientemente reducidos, llamadas de cajón y con dispositivo visor réflex, mencionando por vez primera perfeccionamientos como pantallas de enfoque de cristal traslúcido e interiores pintados de negro para evitar reflejos y luces parasitarias. La cámara de Zahn, una caja de madera de unos 20 cm. de ancho por 60 cm. de longitud, disponía no sólo de una lente que podía moverse en el interior de un tubo para enfocar la imagen, sino de una abertura regulable, para controlar la cantidad de luz que entrara en ella. De haber contado con una superficie sensible susceptible de ser impresionada por los rayos luminosos, la cámara óptica de Zahn se hubiera convertido en la primera cámara fotográfica de la historia.

Este sistema óptico-mecánico de proyección conocido como la linterna mágica mantenía una considerable diferencia con respecto a otros juegos y teatros de sombras conocidas desde hacía siglos. En el caso de la linterna mágica las lentes proporcionaban una ampliación controlada y previsible de la imagen, teniendo en cuenta sus características técnicas. Precisamente, en este punto residía el motivo que obstaculizaba la construcción de su óptica para su propagación en el siglo XVII.

Los ópticos Richard y John Reeves, padre e hijo, tuvieron un papel importante en el avance tecnológico y posterior propagación de la linterna mágica. De hecho, ellos mantuvieron una correspondencia con Christiaan Huygens. Además, trabajaron en la venta de linternas, y en ofrecer proyecciones a domicilio.

A lo largo de todo el siglo XVIII, se produjeron múltiples novedades técnicas que suscitaron el interés por la linterna mágica. Así pues, el físico neerlandés Pieter van Musschenbroek (1692-1761) materializó el esbozo de Huygens. El procedimiento que usó con la finalidad de mover la imagen de una transparencia fue superponer dos transparencias complementarias, una estática y otra dinámica. El movimiento en la imagen se producía mediante una manivela exterior que hacía girar el engranaje de la transparencia durante la proyección. Este fue el principio que utilizó Pieter van Musschenbroek para diseñar algunos de los motivos que se reflejarían con frecuencia en las exhibiciones de la linterna mágica: el molino de viento cuyas aspas giran, un hombre que se lleva un vaso a la boca o el busto de un señor que, al perder el sombrero, pierde también la peluca.

En definitiva, éste fue el sistema que se utilizó para la construcción del primer soporte dinámico y secuencial de la historia de la proyección. Se trataba de un soporte en el que subyacían bastantes posibilidades narrativas. De hecho, no tardó mucho en expandirse entre los interesados por este medio.

Poco a poco, durante el siglo XVIII, las lentes fueron elaborándose cada vez con más transparencia y con ausencia de burbujas. Este hecho aumentaba calidad a la proyección. Así pues, se iban disminuyendo las deformaciones presentes en la imagen.

Aún así, es cierto que al magnificar la imagen durante la proyección, cualquier fallo se hacía evidente. Por eso, se requería un gran dominio de la técnica pictórica para el registro de placas de la linterna mágica. A todo ello se añadía la dificultad de la transparencia de los colores. Podía suceder que las imágenes se transformaran en sombras oscuras al aplicar una capa gruesa de pintura o que llevara demasiado pigmento. Además, este hecho se producía con bastante frecuencia en las transparencias del siglo XVIII. El motivo no era otro que el escaso control de pigmentación.

Fue a finales del siglo XVIII cuando tuvieron lugar espectáculos de imágenes horrorizantes debido a cambios producidos en la concepción de la Linterna Mágica. Se llegaron a proyectar así pequeñas imágenes que podían convertirse en gigantes y que podían moverse alrededor de las paredes, o fantasmas proyectados sobre humo. Estos espectáculos de horror en los que se habían convertido las proyecciones de imágenes fueron conocidos con el nombre de Fantasmagorías. Una de las temáticas principales eran los acontecimientos macabros relacionados con la Revolución Francesa. Así pues, estos espectáculos se habían convertido en la forma de someter a los espectadores a la recepción de ideas desconcertantes a través de experiencias visuales.

En 1798 llega a París el clérigo y físico belga Étienne-Gaspard Robert (1763–1837), conocido después como Robertson. Allí llegó a estrenar una serie de sesiones fantasmagóricas.

En lo que a opiniones sobre Robertson concierne, algunos expertos en la materia, opinan que al igual que otros ilusionistas, Robertson se limitó a reinterpretar procedimientos y técnicas que ya se había venido empleando desde hacía años.

El propio Robertson dejó constancia de algunos datos y anotaciones recogidas en dos volúmenes titulados *Mémoires récréatifs, scientifiques et anecdotiques* sobre temas que inspiraban las piezas. Dichas anotaciones fueron escritas entre 1831 y 1833. Se trataba de comentarios sobre la puesta en escena y las intervenciones que recitaba el propio autor mientras duraba la presentación.

Por su parte, la fantasmagoría se caracterizaba por poseer numerosos elementos escénicos, como fundidos, sobreimpresiones, imágenes en movimiento, alocuciones y efectos sonoros. Para la puesta en escena de estos elementos, era necesario disponer de una sala tapizada en negro, con un espacio mínimo de 25 metros de largo y 8 de ancho. A su vez, la sala debía tener una tarima reservada para las experiencias de aproximadamente un metro de altura. En ese espacio, la pantalla de proyección, ocultada hasta el inicio de la sesión por una cortina negra, dividía la sala en dos partes: por un lado, un fondo de 8 metros, reservado al fantoscopio que guardaba el misterio de las fantasmagorías, y por otro, unos 15 metros reservado para el público.

Por otra parte, el modo en que las imágenes llegaban a conseguir efectos dinámicos y secuenciales, comenzaba con un resplandor coloreado que manchaba la tela. Este resplandor era producido a través de los quinqués del fantoscopio y la placa de vidrio que se usaba para las representaciones gráficas. A medida que el aparato retrocedía, la imagen aumentaba de tamaño, hasta que quedaba nítidamente enfocada y pudiera alcanzar su mayor extensión. Para conseguir la intensidad dramática se utilizaba un tam-tam chino⁴⁵. De tal manera que las maniobras se llevaban a cabo de forma reversible.

Al aludir a la combinación dinámica, característica del siglo XIX, resulta oportuno puntualizar que pudo ser realizada por Robertson gracias al fantoscopio. Este dispositivo se localiza detrás de la pantalla, construido a partir de una linterna mágica, montada sobre un pie provisto de ruedas que alcanzaba una altura aproximada de

45. Instrumento de repercusión con superficie aplanada, y bordes curvados que al percutir con un mazo da un sonido crash. Generalmente, se suspende verticalmente de un soporte y es de bronce.

160 cm. Ese mecanismo permitía el acercamiento o alejamiento silencioso respecto de la tela, con la finalidad de agrandar o minimizar las imágenes, todo ello sin que el público se diera cuenta de la maniobra. Además, gracias a este ingenioso sistema, las sombras aparecían y desaparecían en la pantalla. En definitiva, se trataba de un mecanismo que suponía ser el antecedente del obturador.

Junto al fantoscopio se utilizaban otros mecanismos para generar sobreimpresiones, fundidos y apariciones fantásticas. Con la imagen principal, un ayudante emitía un motivo desde un lugar oculto, con la ayuda de una linterna mágica ordinaria sujeta mediante correas. Todo ello se hacía usando bajorrelieves, grabados o medallas que el propio Robertson, se había creado, recortado y policromado, para confeccionar distintos motivos, que después distribuiría en tablillas; introduciéndolos, posteriormente, en la caja de luz del fantoscopio.

A pesar de que los desarrollos técnicos eran escasos, el término proyectar reemplazó a la antigua designación de linterna. Fue a partir de 1950 cuando la diapositiva de 35 mm y el proyector de opacos fueron sustituyendo de forma paulatina a los equipos de diseño tradicional. Actualmente, está presente la influencia de las aplicaciones educativas de la linterna mágica. Dicha influencia se hace evidente, sobre todo, en el recurso a presentaciones audiovisuales realizadas a través del ordenador.

En función de las posibles combinaciones, el aparato de proyección recibía unas denominaciones u otras: en el caso de la proyección por reflexión, linterna episcópica; cuando la proyección se hacía mediante transparencia o epidiascópica, diascópica; en el caso de que fueran ambas a la vez, recibía la denominación de lampadoscopio, si se podía aplicar un sistema de iluminación en forma de quinqué. Cuando la finalidad era lograr efectos sorprendentes, se utilizaba como pantalla de proyección cualquier medio que reflejara los rayos de luz. Por ejemplo, para reflejar apariciones, se proyectaba sobre un espejo, o bien, a través de retroproyección en un cristal.

Evidentemente, para los ojos del espectador la transición de imágenes pasaba más desapercibida, en el caso de disponer de equipos ópticos compuestos. De esta forma, no era necesario acudir a soportes secuenciales o de mecanismos inventados expresamente para el cambio de imágenes aisladas en las linternas simples.

Cabe ser destacado que la proyección doble o triple se lograba ajustando dos o tres aparatos, mediante los que se hacía posible combinar sobre la pantalla imágenes originalmente en placas aisladas o soportes. Así pues, los mecanismos compuestos lanzaban sus formas de luz sobre el mismo lugar de la pantalla, posibilitando la fusión. El hecho de poder colocar en cualquier ángulo deseado la base en la que se asentaba el objetivo de proyección hacía posible este efecto. Dicha base era construida en latón y fijada con tornillos.

En el caso de que la iluminación estuviera constituida por lámparas oxhídricas, la modificación de fuerza luminosa entre los distintos cuerpos de proyección se lograba accionando la llave del gas. Los mecanismos que empleaban lámparas de petróleo, a veces estaban constituidos por unos ojos de gato. De hecho, estas lámparas estaban encendidas siempre. De tal manera que, mientras el ojo se abría delante de unos de los objetivos, se cerraba en el otro. Ahora bien, para sustituir a este dispositivo se podía hacer uso de una lámina alargada y fina de latón. Se caracterizaba por tener una abertura rectangular en un extremo, que se deslizaba verticalmente entre los condensadores y el chasis, haciendo posible, en cada una de las linternas, el paso variado de la luz.

Los modelos biuniales y triuniales hacían uso, con frecuencia, de este último mecanismo. Además, estos aparatos habían alcanzado su máximo esplendor en la Gran Bretaña de las dos últimas décadas del siglo anterior. El primero de ellos fue, con claridad, el más famoso. Las dos fuentes de luz y sus respectivos sistemas ópticos eran alojadas a través de un cuerpo vertical de metal o madera. De esta forma coincidían en paralelo los ejes. Por otro lado, el segundo constituía una mejora del sistema biunial, equipado en este caso con tres linternas superpuestas. De esta

forma, la que estaba en un plano superior podía ser retirada y colocada en un tablero independiente, con lo cual hacía la función de linterna simple. Sin embargo, el resto de linternas hacían la función de gemelas haciendo uso de una tapadera extra.

A través de la sucesión de imágenes planas, estos equipos compuestos lograron conseguir un alto grado de elaboración narrativa. De hecho, en principio, eran los únicos capacitados para la proyección de imágenes estereoscópicas. Al igual que las creadas en 1858 por el físico francés Charles d'Almeida, necesitaban distintas fuentes de iluminación para producir el resultado tridimensional en la pantalla.

Además, D'Almeida había inventado dos procedimientos aditivos de proyección, a los que denominó anaglifa. Ambos solicitaban la sobreimpresión de dos pistas viradas en colores complementarios cyan y rojo. Se podía hacer, por ejemplo, a través de un pequeño desplazamiento relativo entre sus imágenes. Con la finalidad de completar el procedimiento se hacía uso de unas gafas que montaban filtros de color complementario correspondiente. De esta manera, cada ojo era receptor de una información diferente. A su vez, el cerebro fundía estas informaciones para adquirir el efecto relieve.

Fue en la década de los 90 cuando se confeccionó las placas estereoscópicas para proyección que precisaran de un solo soporte, y en consecuencia, pudieran utilizarse en una linterna simple. En 1891 John Anderson, puso en práctica su método de proyección estereoscópica con luz polarizada y, en 1893, Louis Ducos du Auron empleó el método sustractivo del color.

Así pues, lo que comenzó siendo un mecanismo producto de artesanos o del propio internista, terminó iluminando una actividad industrial extraordinariamente fructífera destinada a dos sectores bien definidos: el doméstico, que suministraba al mercado aficionado e infantil; y el profesional, que apostaba por los productos y servicios dirigidos a instituciones y espectáculos públicos.

Agustín Gómez Santa María, probablemente de origen español, profesó de arquitecto en el París de 1868. Gómez de Santa María contribuyó al sector del linternismo construyendo un aparato al que denominó Dinascopio. Se trataba de una especie del fenaquistiscopio de proyección, por su parte, Mannoni (1994) atribuye una patente con registro de 7 de Marzo de 1868, y cuatro colecciones de láminas de vidrio almacenadas en el Conservatoire National des Arts et Métiers. Según Mannoni (1994), el mecanismo está compuesto por seis objetivos inmóviles montados en círculo sobre un marco redondo de madera. Sobre el mismo eje va acoplado un disco obturador, llamado *diafragma móvil*, cuya advertura corresponde aproximadamente a la anchura de dos lentes. Este disco gira a través de un pequeño sistema de poleas. Los vidrios complementaban este mecanismo. Sobre ellos aparece pintada la figura o la escena que se pretenda representar. En el caso de una sola figura, debe estar representada en seis posiciones distintas, para que se lleve a cabo el efecto de un movimiento completo. En el propio foco o centro de las seis pequeñas lentes de aumento u objetivo se colocará cada una de estas imágenes, representando una posición diferente. De esta forma, deberán reflejar exactamente su imagen sobre la pantalla.

Se debe destacar también que ante la llegada del siglo XX, surgieron otros artefactos mediáticos que gozaron de relevancia. El visor estereoscópico, el zoótropo, los espejos anamórficos, el praxinoscopio, el kinetocopio, los juegos de dióptrica y catóptrica,... estos sistemas desarrollaron sus potencialidades comunicativas, con los que través de la comercialización fue posible satisfacer la demanda social.

Relevante es el hecho del primer dispositivo de visionado para crear un efecto real de profundidad. Fue el *Reflecting Mirror Stereoscope* de Charles Wheatstone creado en 1833. Este ingenio, organizado por medio de espejos, aprovecha las imágenes captadas siguiendo el orden y ángulo creado por cada ojo.

La estereoscopia fue presentada en 1838, un año antes que la fotografía; sin embargo, por la seducción que producía al gran público fue rápidamente adaptada

para la tecnología desarrollada por Daguerre⁴⁶.

Muchos fotógrafos importantes del siglo XIX, hoy considerados grandes artistas, produjeron cuerpos de obra significativos en formato estereográfico; entre ellos se encontraban Timothy O'Sullivan, Carleton Watkins y Eadweard Muybridge. También practicaron la estereografía autores como Thomas Hoseworth o B.W. Kilburn⁴⁷.

Entre 1865 y 1880 la estereografía se convirtió en uno de los principales medios de entretenimiento. Durante estos 15 años, fotógrafos y editores producen millones de estas vistas fotográficas.

La palabra estereoscopia deriva del griego “στερεός” (stereos; firme, sólido), y “σκοπέω” (skopeō; mirar, ver). En 1613, Flancois d'Aguillion, matemático y jesuita, acuñó el término “*Stéréoscopique*” en su tratado “*Francisci Aguiloni o Societate Iesu Opticorum libri sex: philosophis iuxta ac mathematicis utiles*”, en el capítulo “*De stereographice altero projectionis genere ex oculi contactu*”.

Los primeros intentos de recrear una visión estereoscópica nacen mucho antes del descubrimiento de la fotografía y fueron llevados a cabo con dibujos; aunque sino fuera gracias a la contribución de los estudios realizados por la visión binocular, tal vez no hubiera sido posible descubrir la estereopsis.

46. Desde la aparición de los daguerrotipos en el siglo XIX, las primeras imágenes difundidas generaron una gran transformación cultural, ya que testificaban la identidad y la verdad, y aunque por sus características analógicas no se podía optar por segundas tomas, se asumía el resultado final. Al contrario de la fotografía analógica, con la imagen digital se busca la satisfacción inmediata, y su presencia en la actividad humana ha aumentado a través de plataformas sociales o soportes informáticos. La fotografía representa un lenguaje visual muy comunicativo que ayuda a hacernos visibles ante el mundo, aunque está afectando a nuestra forma de vernos y al modo en que observamos el mundo debido a la fácil manipulación en las fotográficas digitales.

47. Benjamin West Kilburn (1827-1909), fotógrafo estadounidense, conocido por sus estereogramas de los paisajes de Canadá y de los Estados Unidos, tiene además otros registros visuales como las migraciones que se produjeron a finales del siglo XIX.

El pintor florentino Jacopo Chimenti da Empoli produjo la primera pareja de dibujos que demuestra la plena comprensión de la estereografía y de la visión binocular.

Uno de los inventos más destacados en el campo de la imagen tridimensional se lo debemos a Nicéphore Niépce, quien comenzó interesándose por la litografía junto con su hermano Claude, utilizando la cámara oscura y buscando la fijación de imágenes en las piedras litográficas. En 1816 dio a conocer unas pruebas obtenidas a partir de planchas de metal impregnadas con betún de Judea resuelto en esencia de espliego a las que llamó heliografías. Empleó en pruebas posteriores diferentes sustancias como cloruro de plata, resinas, aceites, papel o metales con la finalidad de fijar las imágenes sobre el soporte. Inventó también una cámara a la que aplicó diafragmas para obtener mayor detalle. En 1820 completó el hito de traspasar imágenes a piedras litográficas y dos años después creó sus primeras reproducciones de grabados. En 1826 completó su proceso de perfeccionamiento consiguiendo tomar una serie de vistas desde la ventana de su laboratorio, de las cuales al menos una ha perdurado hasta hoy. En ese mismo año conoció a Louis Daguerre, con el que firmó tres años después un contrato de trabajo en común que se vería truncado con la muerte de Niépce en 1833.

Louis Daguerre, tras el fallecimiento de su compañero Niépce, perfeccionó el procedimiento fotográfico ensayado por su colaborador, introduciendo varias innovaciones: Utilizó placas de cobre plateado, sensibilizadas en vapores de yodo, consiguiendo buenos revelados a partir de vapores de mercurio.

Es en 1837 cuando Louis Daguerre desarrolla el daguerrotipo a partir de los trabajos realizados por Niépce. Este proceso para la obtención y fijación de imágenes consistía en unas placas de cobre recubiertas de plata y pulidas al máximo que se sensibilizaban con vapores de yodo para obtener yoduro de plata, para después ser expuestas a la luz y aplicarle vapor de mercurio a fin de hacer visible la imagen. Las imágenes eran fijadas en agua salada muy caliente, obteniendo imágenes muy nítidas y de calidad permanente. El invento fue presentado en la Academia de Ciencia de París

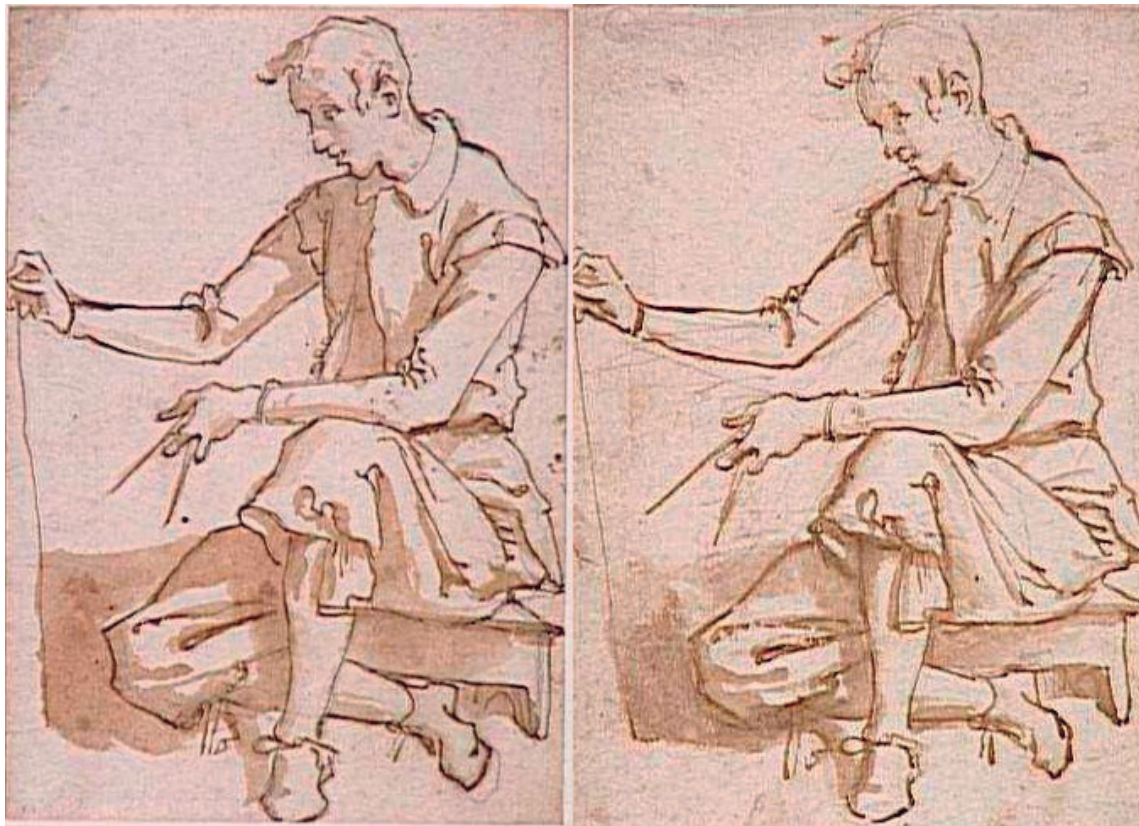


Fig. 17 Joven sentado en el suelo dibujando con un compás. Ilustración de Chimenti.

el 18 de agosto de 1839, momento tras el cual, debido al impacto y al éxito de esta innovación, se desarrolló una importante industria relacionada con el Daguerrotipo. En 1840 se publicó el primer álbum de litografías a partir de daguerrotipos, titulado *Paris et ses environs reproduits par le daguerréotype*.

Las dimensiones de la cámara oscura se redujo, convirtiéndola en una herramienta fácilmente transportable. El usuario podía observar la imagen a través de una pantalla transparente. Se añadieron diafragmas de varios tamaños, para obtener una proyección más nítida y brillante, intercalando un espejo que neutralice la inversión propia de toda luz reflejada.

Además, durante esta época se cosechó un éxito considerable, donde se hizo notar en las crónicas, entre ellas destaca la firmada el 28 de Junio de 1896 por el ingeniero, dramaturgo, político y matemático español José Echegaray (1832-1916), en la revista

Apuntes, donde realiza un breve análisis del recién nacido mecanismo:

Sáquense de cualquiera escena, en que intervenga el ser humano para darlas mayor interés, 15 o 20 fotografías por segundo. Amplifíquese por medio de un aparato de proyección las reproducciones fotográficas, fuertemente iluminadas. [...] Sepárese cada imagen de la que sigue por un obturador instantáneo, para que no se borren y confundan unas con otras y para que durante cierto tiempo pequeñísimo la fotografía quede fija y se proyecte con toda la intensidad; recoja estas proyecciones, sobre una pantalla lejana, y habremos reproducido la escena que se trata y la podremos reproducir siempre que queramos, aunque transcurran, días, meses y años. (Gómez R. 1999. Pp.518-519).

Se construyeron multitud de cámaras, de las más variadas formas y tamaños.

Cámaras de bolsillo de sólo 15 a 20 cm de largo por 5 o 7 de ancho. Algunas tenían forma de libro, otras iban montadas en el puño de un bastón. Para ayudar a los artistas en la ejecución de retratos, bodegones e interiores, había cámaras en forma de mesa, mientras que para paisajes se utilizaban las cámaras de cajón portátiles y las cámaras en forma de silla de mano. Algunas veces se adaptaban carruajes para ser utilizados como cámara, tapizando el interior con un material oscuro... En estos casos, al igual que en el tipo de silla de mano, la lente estaba colocada en el techo del coche, y la imagen era reflejada sobre el tablero de dibujo por un espejo, de modo que el viajero podía tomar apuntes cada vez que encontraba un bello paisaje, sin tener que molestarse en apearse del vehículo. (Gernsheim, H. y A, 1967.P. 10)

El físico e inventor escocés Sir David Brewster, inventor del caleidoscopio y de la estereoscopia, inició sus investigaciones fotográficas en 1844 buscando conseguir imágenes estereoscópicas.

En 1849 Brewster, inventa el dispositivo homónimo, que permitía tomar dos imágenes sobre una plancha graduada con una cámara binocular. Este artilugio tenía la forma de una caja de pirámide truncada, a la que Brewster añadió las lentes. Con motivo de su presentación en la *Exposición Universal* de Londres de 1951, (dedicada a los avances de las artes y de las ciencias), celebrada en el *Crystal Palace* de *Hyde Park* en Londres, la reina Victoria quedó sorprendida por el dispositivo estereoscópico mostrado. El aparato tuvo un interesante recorrido comercial en los años posteriores. Brewster perfeccionó el estereoscopio de Wheatstone, resolvió el problema del

tamaño utilizando unas lentes que enfocarían los pares estereoscópicos, los cuales se situarán uno al lado del otro, y no por separado en el primer estereoscopio.

Años después, Joseph de D'Almeida descubre los efectos creados por la combinación de colores rojo y verde, entre otras. Posteriormente, con el uso de placas de cristal proyectadas a una pantalla se consiguieron los primeros anáglifos en 3D. Basadas en el descubrimiento de Joseph de D'Almeida se realizaron modificaciones y adaptaciones, llevándose a cabo proyecciones cinematográficas llamadas plastigramas, en las que los espectadores debían llevar unas gafas verdes y rojas.

Cabe señalar que Oliver Wendell Holmes construyó otro modelo de estereoscopio de mano, elaborado con sistema de prismas. Este aparato fue muy popular en el siglo XIX, ya que la aprobación de la soberana provocó tal furor que en 1856 se vendieron más de medio millón de estereóscopos, causando un gran éxito en América. La popularidad lo convirtió en el primer fenómeno de masas dentro del mundo visual.

Por su parte, John Benjamin Dancer fue otro inventor y fabricante de instrumentos científicos. Además de dar a conocer su gran aportación en el campo emergente de la microfotografía usando el daguerrotipo, en 1856 inventó la cámara estereoscópica binocular.

Este aparato trata de imitar la visión humana a través del uso de dos objetivos, que al estar separados como los ojos, toman dos fotografías diferentes de un mismo motivo.

En 1889 se desarrollaron los anáglifos en movimiento, pudiéndose crear por ellos películas en 3D.

Antes, en 1862, Du Hauron aportó a este descubrimiento nuevos conocimientos en sistemas de color, que pasaron a formar parte de los principios de la fotografía en color moderna.

A finales del siglo XIX, Du Hauron patentó la impresión de anáglifos. Colocando dos placas de cristal de distintos tonos superpuestas conseguía una única imagen final. Causó tanto furor que pronto empezó a aparecer en publicaciones y materiales impresos. Es por ello que, gracias a la revolución tecnológica, la imagen estereotipa experimentó una energética expansión, al hacerse posibles nuevas formas para su análisis. La sociedad tomó el invento con mucho entusiasmo, se crearon muchas imágenes en

todas partes, convirtiéndose en una moda en auge continuo.

El inicio del siglo XX trajo consigo la llegada del cine, hito que terminó llevando a la fotografía por sendas distantes de la estereoscopía, que, sin embargo, aún tendría dos manifestaciones que la mantendrían viva: en cuanto al movimiento, el cine en 3D tendría dos períodos florecientes, uno en 1950 y otro en 1980. Y respecto a la imagen fija, el *View-Master* se convertiría en el estereoscopio por excelencia del siglo XX.

Durante los años 50 se pretendió la explotación comercial de películas 3D, pero debido a la pésima calidad de los efectos visuales, no tuvieron mucho éxito. La primera película fue *Bwana Devil* (1952), por la *United Artist*, que se mostró por todo Estados Unidos y se rodó con un proceso denominado *Natural Vision*. Un año más tarde, se estrenó *Man in the Dark* y *House of Wax*. Precisamente, esta última fue la primera película 3D con sonido estéreo. *House of Wax* fue dirigida por André de Toth. Esta producción fue llevada a cabo por el estudio *Warner Brothers*. Se trataba de una nueva versión de la película *Mystery of the Wax Museum* (1933).

A Edwin Land, prestigioso inventor, aparte de crear la famosa Polaroid se le atribuyen otros inventos que ayudaron a contribuir en la difusión de la imagen tridimensional. Uno de ellos fue la fabricación de filtros polarizadores que permitieron a los cineastas a lanzarse en la carrera del 3D, también las llamados *vectografías*, sistemas de impresión con un efecto de profundidad. Estos sistemas son, en definitiva, impresiones de moléculas en distintas capas, en busca de una reacción visual distinta según la incidencia de la luz sobre ellas.

Continuando con la perspectiva cronológica de la evolución de esta metodología, resulta oportuno resaltar que en 1938 comenzaron a experimentar los rusos con el Stereokino, un sistema en relieve sin la necesidad de emplear gafas coloreadas. El Stereokino tuvo su primera demostración pública en enero de 1941, y en 1946 se estrenó *Robinzon Kruzo*, de Aleksandr Andriyevsky, primer largometraje en 3D, sonoro y en color, utilizando el Stereoskino de S.P. Ivanov. Se proyectaba sobre una

pantalla de metal con unas aristas que reflejaban dos imágenes separadas, dando la sensación de relieve.

El estereoscopio *View-Master* fue introducido en la *New York World's Fair* de 1939, inventado por William Gruber, quien utilizó la idea del viejo estereoscopio introduciendo las nuevas películas a color Kodachrome. A lo largo de casi 75 años, se han fabricado varios modelos *View-Master*. Actualmente siguen en producción bajo la marca *Fisher-Price*, aunque no fue el único estereoscopio que pudo comercializarse, ya que otras empresas produjeron dispositivos similares. Algunas de las marcas comercializadoras más conocidas son: 3Diland, Armme Stereoscope, Beka Star, Camerascope, Colorscope, Graf, Isolan Stereomat, Maliscop, Novelview, Pana-Vista, Photo-Scope, Rada, Sterebox, Stereomat, True-View o Vista Screen. El éxito del *View-Master* fue tan grande que muchas de estas marcas surgieron para capitalizar parte del mercado abierto.

En 1947 Dennis Gabor descubre una forma nueva de representación con imágenes monocolor, llamada *holograma*. Los hologramas son sistemas imposibles de copiar, y que permiten al espectador contemplar una imagen en tres dimensiones reales. Esta tecnología ha sido la precursora de muchos sistemas modernos que conocemos hoy en día: hologramas de alta seguridad, tarjetas de crédito, libretas de ahorro, etc.

El Dr. Béla Julesz⁴⁸ introdujo un sistema de estereografías basado en puntos aleatorios distribuidos en dos imágenes (*RDS* en inglés); cuando estos se observan de forma binocular producen una sensación de profundidad, haciendo que los objetos estén más cerca o más lejos que la imagen.

El proceso usado para desarrollar el primer RSD consiste en crear una imagen y llenarla con puntos aleatorios. duplicarla, seleccionar una región en una imagen,

48. Las obras de Julesz produjeron interés en las ciencias cognitivas y en los neurocientíficos en los años 50 además de inspirar a artistas, diseñadores y pioneros en la creación de gráficos por ordenador. Su obra *Foundations of Cyclopean Perception* (1971) recoge un estudio de la ciencia visual.

desplazar la región un poco, horizontalmente. El estereograma está completo.

En 1962 Morton Leonard Heilig (1926-1997) patentó *Sensorama*, la primera máquina multisensorial, basada en imágenes estereoscópicas. Este precedente de la Realidad Virtual trataba de un aparato voluminoso, de grandes dimensiones, su forma es muy parecida a la de un juego de arcade de los años 80. La máquina, mientras proyectaba un cortometraje, el usuario podía recrearse en las escenas gracias a los aromas, vibraciones o ventilaciones que emitía para que se ajustaban a la situación de la historia. A pesar de ser una tecnología muy innovadora para la época, no fue posible su comercialización, debido a los altos costos que podía alcanzar en su sostenibilidad.

En 1970, Allan Siliphant y Chris Condon desarrollaron *Stereo-Vision* otro sistema, en el que las imágenes eran comprimidas una al lado de la otra sobre una misma tira de película de 35 mm y proyectadas mediante una lente anamórfica especial para ensanchar las imágenes usando una serie de filtros polaroid. Con este sistema se eliminaba el peligro de la desincronización.

La primera película estrenada en Stereo-Visión fue la comedia norteamericana *The Stewardesses* de Al Silliman Jr. Fue tal el éxito económico de esta película que incluso fue reeditada en un formato mayor.

Más adelante, concretamente en 1979, Christopher C.W.Tyler de Smith-Kettlewell Institute, un estudiante de Julesz y psicofísico visual, combina las teorías de Julesz y de Schilling para crear el primer “autoestereograma” (también llamado SIRDS y SIS, Single Image Stereogram) en blanco y negro, con la ayuda del programador Maureen B. Clarke mediante *Apple II* y *BASIC*. Este tipo de estereograma permite a una persona ver formas en 3D a través de una imagen en 2D sin la ayuda de equipos ópticos. Un año más tarde, Tom Baccei y el artista Cheri Smith consiguieron poner color a los autoestereogramas, comercializándose posteriormente como Magic Eye. “*Autostereogram of a checkerboard in depth. Cross the eyes slightly so that the two solid fixation dots appear as three dots in a line. Focus on the center one until depth is perceived in the rest of the display.*” (Christopher, W. Tyler and Maureen B. Clarke, 1990.[PDF] *The*

autostereogram, Stereoscopic Displays and Applications. Proc. SPIE 1256:182-197)

En la década de los años 80, gracias a los grandes formatos, como los ofrecidos por la tecnología IMAX (del inglés *Image Maximum*, *Image Máxima*)⁴⁹, nació del deseo de aumentar el impacto visual de las películas; posteriormente, la mejora de esta tecnología supuso un nuevo despegue para el cine en tres dimensiones. Para crear la ilusión de profundidad tridimensional, el proceso utilizaba dos lentes de la cámara separadas a una distancia intercalar de 64 mm (2,5") para representar los ojos de un ser humano. En la grabación se proyectan de forma simultánea dos rollos de película que corresponderían al ojo derecho e izquierdo. Los espectadores visualizan la recreación de una imagen 3D partiendo de una imagen 2D. Además, para mejorar la experiencia visual de movimiento se utilizaba la vibración en los asientos durante las proyecciones.

En este sentido, ante la necesidad de simplificar elementos tecnológicos en la visualización de imágenes 3D, las instituciones comenzaron a enfocar sus investigaciones en dispositivos tales como gafas o receptores especiales acoplados al emisor, sin el uso de ningún elemento complementario, con el propósito de comercializarlas enfocándolas hacia un consumo particular.

Sin embargo, en las dos últimas décadas del siglo XX se abrió un nuevo camino para los medios eléctricos mediante la introducción de procedimientos informáticos, dejando obsoletos los antiguos sistemas con procesos puramente químicos para el tratado de la imagen. De esta manera, se consiguió abaratar en los costes y reducir el tiempo de producción, circunstancia muy importante sobre para la postproducción de películas.

49. Se estrenó en la EXPO 67 en Montreal, cuando un pequeño grupo de cineastas experimentales canadienses se unieron para producir una instalación de pantallas múltiples. La instalación fue parte de la competencia que consistía en crear la primera proyección de cine en pantalla gigante.

Por otra parte, en 1969 se inventan los sensores *Charge Bubble Devices* CCD desarrollados por Wilard Boyle y George E. Smith en los laboratorios de AT&T Bell Labs. Los materiales fotoconductores que se utilizaban en las cámaras analógicas -como el plumbicon, saticon o vidicón- han quedado obsoletos tras el desarrollo de los sensores CCD⁵⁰, que pueden convertir la luz en impulsos eléctricos susceptibles de ser registrados mediante un procesador para que sean traducidos en datos digitales. En este punto también resulta útil señalar que las primeras nociones de los mundos virtuales comienzan en la década de 1960. Internet había concebido un nuevo clima social, en el que las personas buscaban una identidad no física de sí mismos⁵¹ e interactuar con otros usuarios.

En 1965 Iván Sutherland⁵² presentó en el Congreso de IFIP (*International Federation of Information Processing*) su programa de investigación sobre el grafismo computerizado, en el que formalizó el concepto de mundo virtual y en el que delineaba las características de una futura interfaz capaz no sólo de mostrar el mundo tal y como es, sino de hacernos sentirlo como si fuese real.

La perspectiva de Sutherland había impulsado a la comunidad científica en el estudio del algoritmo. El principal interés de estos estudios residía en el hecho de ofrecer al usuario una interacción en un entorno virtual, obteniendo reacciones fisiológicas similares a como le sucedería en una situación real.

“La pantalla es una ventana a través de la cual uno ve un mundo virtual. El desafío es hacer que ese mundo se vea real, actúe real, suene real, se sienta real” (I. E. Sutherland, *Proceedings of IFIP Congress, “The Ultimate Display”*, pp.506-508, 1965).

50. En la actualidad se usa habitualmente los llamados CMOS como sistema transductor en las cámaras de imagen electrónica.

51. *Second life* de Max Senges, p.10.

52. Sutherland presentó en un congreso un informe en el que delineaba las características de una futura interfaz capaz, no sólo de mostrar el mundo tal y como es, sino de hacernos sentirlo como si fuese real.

Respecto a los resultados relacionados con el impacto, el desarrollo de los dispositivos de entrada y salida han proporcionado un enorme interés para generar aplicaciones en diversos campos, como el ocio y el entretenimiento.

En 1968, Sutherland creó el primer mecanismo de Realidad Aumentada, *The Sword of Damocles* (espada de Damocles). Se trataba de un casco muy pesado y de aspecto descomunal, que debía ser colgado del techo en vez de ser sostenido por el mismo usuario. Este aparato permitía visualizar imágenes generadas por ordenador a tiempo real, mostrando una reproducción poligonal del espacio bastante pobre, ya que la capacidad gráfica era muy limitada.

Además se introdujeron los **procesadores gráficos** en los computadores para aligerar la carga de trabajo del procesador central en aplicaciones como los videojuegos o en aplicaciones 3D interactivas.

La definición de entornos realistas o la producción de secuencias elaboradas por estos procesadores fueron empleadas con fines comerciales por empresas del mundo cinematográfico y del entretenimiento. En 1986 se lanzó *Habitat*, un juego de rol online desarrollado por *Lucasfilm* para el sistema Commodore 64. Se considera como el primer mundo virtual, en el cual el entorno no era tridimensional, aunque sí tenía representaciones de sus usuarios, avatares que eran quienes gobernaban y decidían en última instancia.

Durante los años 80, surgieron una gran variedad de técnicas en el ámbito cinematográfico para conseguir mayor realismo en las escenas. En 1985, Robert Abel, especialista en efectos visuales, crea el anuncio *Sexy Robot* donde se presentaba una lata de comida en conserva. *Para la elaboración de este anuncio publicitario se pintaron puntos negros en las articulaciones de la actriz, para que cuando se moviera se tomaran fotografías desde diferentes ángulos. Luego al transferir estas fotos por software se pudo obtener la información espacial de los puntos x,y,z para posteriormente aplicárselo al robot CG (computer generated).*

Otra línea de estudio al hilo de las anteriores es la **proyección de efectos holográficos**, que se encuentra estrechamente relacionada con la Realidad Aumentada. En la actualidad se ha mostrado en el ámbito de la diversión pública y su técnica es muy similar a las ilusiones ópticas que se empleaban en las obras de teatro (*Peppers Ghost*). En la mayoría de estos espectáculos, se utiliza una pantalla de grandes dimensiones. En ella son reflejadas las imágenes gracias a unos proyectores de vídeo y un *software* que genera los gráficos. El conjunto de la reflexión de las imágenes proyectadas hace posible la visión de una imagen volumétrica. Un ejemplo de esta técnica es el sistema *Eyelineer* (*Musion Eyelineer System*), que produce imágenes virtuales de tan alta resolución en alta definición y calidad que parecen totalmente reales. Este sistema presenta innumerables aplicaciones, desde recreación de presentaciones virtuales a distancia en platós de televisión, a telepresencia, autocue (teleprompter, que superpone textos para presentadores), museística y presentación de productos. Suele construirse en base a proyectores DLP con tarjetas de alta definición con resolución nativa mínima de 1280 x 1024, con un brillo por encima de los 5.000 lúmenes.

Hay otros dispositivos de entrada y salida altamente desarrollados en la actualidad que son los **Escáneres 3D** y las **impresoras 3D**. El escáner 3D nos permite construir modelos digitales tridimensionales a partir de un objeto real. Sus aplicaciones principales se dan en los campos de la industria, la ingeniería, el entretenimiento, el patrimonio y la documentación.

Un grupo de La Universidad de Stanford dirigido por Levoy de Marc usó un escáner láser para analizar las estatuas de Miguel Ángel en Florencia, en concreto el David, el Prigioni y las cuatro estatuas de la Capilla de Medici. La densidad de puntos producido por el escáner mostraba con detalle las marcas de cincel de Miguel Ángel. Este detallado escaneo produjo una cantidad inmensa de datos (hasta 32 *gigabits*) y el procesamiento de los datos de su escaneo llevó 5 meses.

Las personas con un nivel adquisitivo medio pueden diseñar y fabricar piezas en sus hogares con las impresoras 3D, aunque esta no es una tecnología nueva; durante décadas la estandarización de piezas era posible por medio de las compañías productoras, pero en los últimos años este proceso se ha visto potenciado por los avances en capacidad de procesamiento, *software* de diseño y nuevos materiales.

Estas tecnologías no sólo se limitarán a crear nuevas piezas ensambladas o simples componentes impresos que facilitarán la vida cotidiana, sino que se prevé que abrirán nuevas fronteras en la biotecnología.

2.3 Conceptos básicos de la percepción visual

Una de las primeras referencias que podemos tener sobre la imagen tridimensional es a través de nuestra experiencia visual. La visión humana a diferencia la de otros seres vivos, tiene la capacidad física de ver en tres dimensiones.

La percepción es un factor importante para entender cómo se forma la imagen tridimensional en nuestro sistema visual; para ello se precisa de un estudio fisiológico sobre los conceptos y funcionalidades que conlleva la observación. En este sentido, señala Fernández Sánchez (2000) en su estudio titulado *Imágenes en tres dimensiones* y publicado en la Revista Latina de Comunicación social: *“El cerebro humano es la máquina más sorprendente que se haya descubierto jamás para la captación de la realidad en todos sus volúmenes y dimensiones.”* Capítulo 2. Cerebro y tecnología (p.11-12)

El **sentido de la vista** es un receptor externo conectado a un complejo sistema nervioso, que permite realizar sus funciones de forma adecuada y coordinada con el resto de los sentidos.

Cuando nos encontramos ante una situación, de una forma instintiva e involuntaria, el sentido de la visión se pone en funcionamiento y transmite los impulsos eléctricos generados desde la retina hasta llegar al cerebro, donde son procesados en la corteza visual.

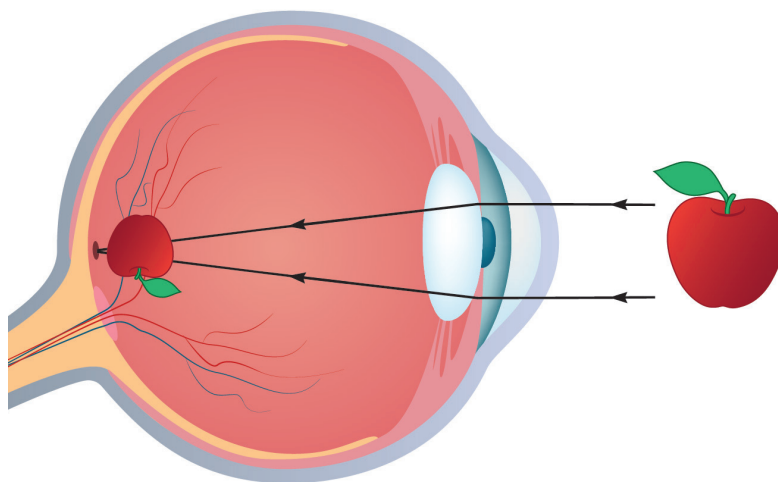


Fig. 18 Formación de la imagen en la retina.

Si miramos a un punto en el horizonte, toda el área que vemos es lo que denominamos campo visual, siendo este la suma de los ángulos independientes procedentes de cada ojo.

La captación visual realizada por un solo ojo posee un campo de visión más limitado, y aunque utilicemos ambos ojos, existe igualmente un punto lateral donde la visión deja de ser binocular para convertirse en monocular.

La disparidad visual es la diferencia entre el punto de proyección en los dos ojos, como consecuencia de su separación entre sí. Se trata de un fenómeno binocular que proporciona una visión en profundidad y permite que se produzca en cada ojo una imagen con un ángulo de visión independiente (disparidad horizontal)⁵³ y se expresa en grados de ángulo.

Esta disposición de los ojos es fundamental para que se produzca la estereopsis, es decir, el fenómeno capaz de fusionar las diferentes señales recibidas de la retina. Este

53. La variación denomina la base estéreo, afectará a la disparidad visual y a su perspectiva. A medida que la base aumenta, la disparidad aumenta, y esto se debe al gran tamaño del ángulo necesario para alinear la visión al punto.

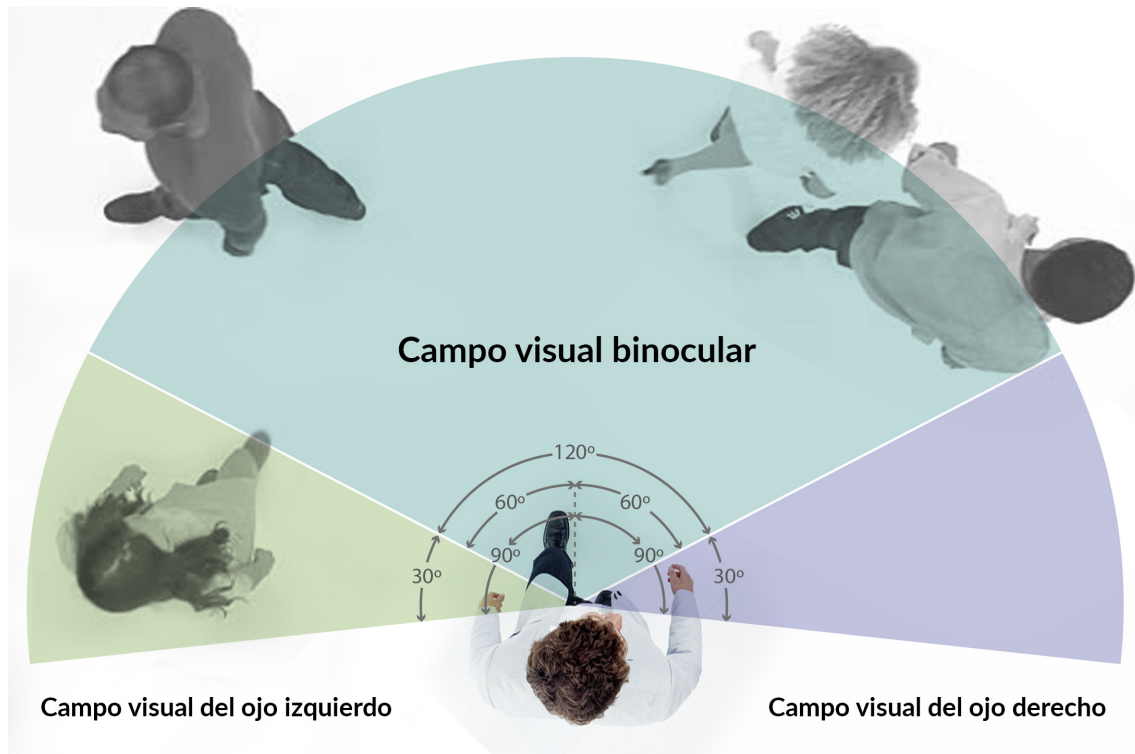


Fig. 19 Visión binocular del ser humano.

proceso se origina de forma inconsciente, dándonos el campo visual y permitiéndonos un cálculo más preciso de las distancias, el volumen, la profundidad y el relieve.

Pero la estereopsis no es solamente la ponderada distancia en sí, sino que también es la capacidad de calcular y coordinar la acción del movimiento, lo que nos permite manipular objetos sin errores, proporcionándonos la capacidad de tener movimientos calibrados y precisos.

Comúnmente, los animales depredadores tienen ambos ojos situados en la parte frontal, lo que les permite una visión binocular aunque reduciendo su campo de visión a favor de la estereopsis. Este sistema de visión tridimensional también es compartido por otros animales, como ciertos mamíferos y algunos primates, entre ellos el ser humano, que necesitan la discriminación de profundidad para coger la fruta elegida o encontrar y alcanzar una rama concreta.

En cambio, otros animales de presa, como las aves, tienen un amplio campo visual, gracias a que sus ojos se sitúan a ambos lados de la cabeza y pueden moverse independientemente.

Las aves con ojos a los lados de la cabeza tienen un amplio campo visual, útil para la detección de predadores, mientras que aquellos con ojos al frente, como los búhos, tienen visión binocular y pueden estimar las distancias mientras cazan⁵⁴. Sin embargo, hay animales que pueden padecer de anomalías en la visión binocular, incluyendo a los humanos, como puede ser la exotropía, caracterizada por una divergencia de las líneas de la mirada cuando los ojos están en reposo fisiológico, o el estornino que mueve los ojos lateralmente para cubrir un amplio campo de visión, pero al mismo tiempo pueden moverlos conjuntamente para apuntar a la parte delantera para que sus campos se superpongan obteniendo así la visión estéreo. Un ejemplo es el camaleón, cada ojo tiene un movimiento independiente del otro, hacia arriba o abajo, a la izquierda o a la derecha. Sin embargo, cuando caza, el camaleón puede llevar sus dos ojos mirando hacia un solo objeto, consiguiendo convergencia y estereopsis.

La gran ventaja de la visión binocular es la posibilidad de ver en 3D, que se corresponde con la realidad física de lo visible. Para entender el complejo proceso que lleva la visión en tres dimensiones, debemos entender que cada retina posee una dirección visual determinada y es en la fovea, el área central, donde se produce el mayor grado de agudeza visual o capacidad de discriminar.

Es importante valorar la amplitud, la capacidad visual y el potencial que tiene el ojo para ejecutar el movimiento, que es fijado por la fovea. La fovea es el área de la retina donde se enfocan los rayos luminosos, cuanto más alejado se encuentre el área estimulada, mayor será el movimiento que el ojo deberá realizar para fijar un objeto.

54. También existen algunas aves que tienen un campo de visión de 360 grados, como la agachadiza americana (extendida por toda América del Norte: México, Canadá y Estados Unidos) que tiene el más amplio campo visual entre todas las aves.

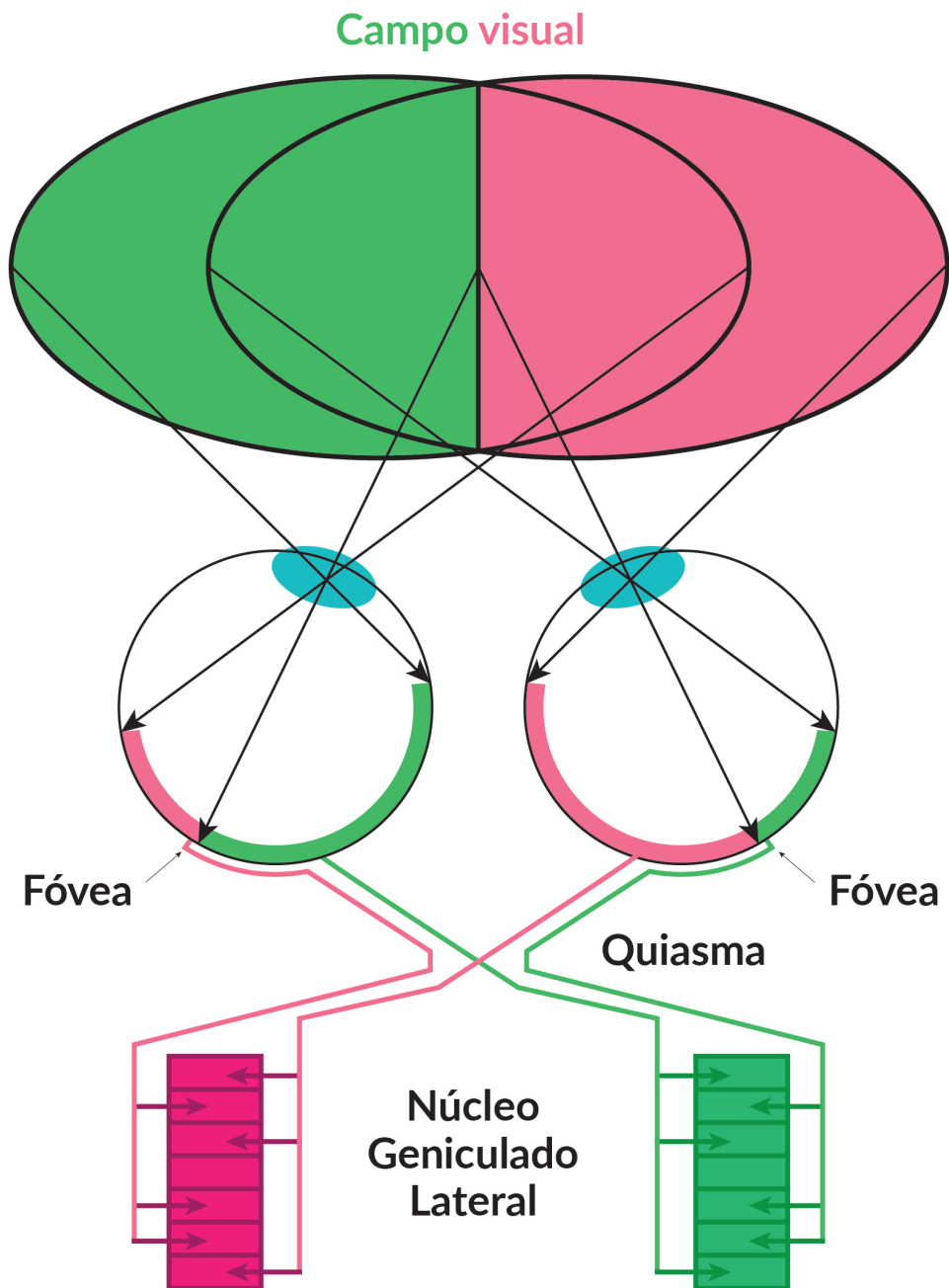


Fig. 20 Recorrido desde el campo visual hasta el centro de procesamiento primario de la información visual, conocido como *núcleo geniculado lateral* (NGL).

Cuando las dos áreas de retina, una de cada ojo, tienen igual dirección e igual valor motor decimos que son correspondientes. Esa correspondencia sensorial es la relación que existe entre la vía visual derecha e izquierda. La unión de todas las áreas retinales correspondientes proyectando su imagen, genera una superficie tridimensional denominada horóptero. Los objetos que se encuentren fuera del horóptero serán percibidos como dobles⁵⁵.

Para percibir una imagen en profundidad o en tres dimensiones precisamos integrar las dos imágenes producidas en cada una de las retinas en una sola imagen final, efecto que se conoce como *haplopía* y que se crea en la zona del tálamo, parte del encéfalo situada en la zona central de la base del cerebro, entre los dos hemisferios, formada por dos masas esféricas de tejido nervioso gris.

El comportamiento de determinadas estructuras visuales a nivel cerebral interno y la manera en que se conforman las imágenes en el interior del tálamo sigue siendo un misterio convertido en materia de estudio en el siglo XXI.

2.4 Métodos de visionado tridimensional

Tras el estudio histórico de la imagen tridimensional se ha realizado una clasificación de los sistemas de visionado.

2.4.1 Freeviewing y el autoestereograma

La llamada *visión libre* o *freeviewing* consiste en todas aquellas fórmulas de observar y percibir el efecto 3D sin la necesidad de emplear ninguna ayuda óptica o sistema de visionado (los científicos la llaman visión tridimensional autónoma) y se denomina autoestereograma a los estereogramas que cumplen con dichas características.

55. Diplopía, visión doble.

Existen varias técnicas para la observación de algunos estereogramas, del que se requiere un gran entrenamiento si queremos experimentar con ella, y para conseguir llevarla a cabo se tiene que producir un cambio en los hábitos de la mirada. Hablamos de algo muy complejo, ya que estos hábitos resultan algo incómodos y difíciles de aprender. La tendencia lógica del cerebro es la de ver las imágenes por separado, aunque la vista tiende a converger ambas imágenes. Por ello es importante desarrollar la habilidad para ver las imágenes estéreo si queremos explotar esta faceta visual no innata. A continuación, se procede al análisis expositivo de las técnicas más importantes al respecto:

- **Visión de imágenes paralela (*Parallel eyed*).**

Esta técnica consiste en mirar el par estéreo con los ojos enfocados al infinito y conseguir un relieve sin el uso de un visor. Las imágenes paralelas están situadas una junto a otra en el mismo orden que fueron tomadas y no deben de tener más de 10 cm de ancho

- **Visión de ojos cruzados (*Cross eyed*).**

Se trata de una técnica con un funcionamiento parecido al de las paralelas, es un sistema de lado a lado, pero en este caso hay que invertir las imágenes: el ojo derecho debe dirigirse en la imagen situada en el lado izquierdo y el ojo izquierdo debe dirigirse en la imagen situada en el lado derecho. El efecto 3D se crea cuando se cruzan ambos ojos, presentando las imágenes unidas y, para conseguir una mayor nitidez, el enfoque debe realizarse en un punto más cercano, debido a la convergencia cercana de las imágenes. El ángulo que se forma es bastante amplio, podría permitir el uso de imágenes de hasta 65 mm de ancho.

- **Visión mixta (*mixed vision*).**

En este caso, alternando la imagen de un lado y otro se puede conseguir una imagen paralela y una cruzada, según preferencia. Es una combinación de cruzadas y paralelas al mismo tiempo.

- **SIRDS y SIS.**

Otros tipos de autoestereogramas son el SIRDS, la denominación en inglés *Single Image Random Dot Stereogram*, es, como su nombre indica, un estereograma de imagen simple construida a través de un sistema informático capaz de formar una estructura de puntos aleatorios; por medio de estos puntos se camuflan imágenes que pueden ser vistas con mucha profundidad. El resultado del efecto es un claro relieve, aunque en realidad estamos ante una imagen 2D; y el SIS, nombre que corresponde a la expresión en inglés *Single Image Stereograms*, fue creado por el Dr. Béla Julesz, quien descubrió de que en determinadas circunstancias se puede engañar al cerebro haciéndole mirar de una manera concreta. Pero no fue hasta 1959 cuando un grupo de científicos del *Laboratorio Bell* dieron con este tipo de imágenes en 3D, basándose en algunas experiencias con imágenes procedentes de aviones espía.

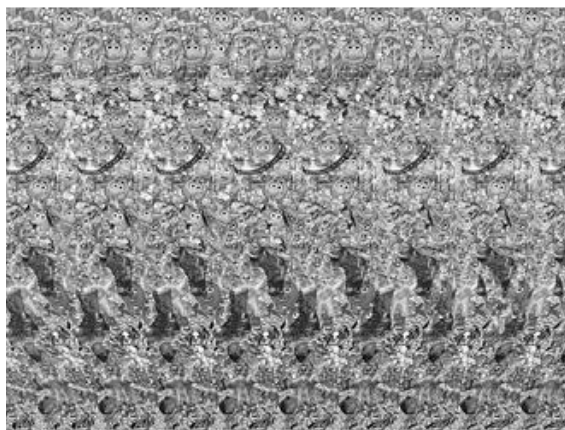


Fig. 21 Autoestereograma de patrones repetitivos (arriba), y la imagen que contiene (abajo).

Ambos se crearon como fórmula comercial de una gran variedad productos. Durante la década de los años 90 se publicó una colección llamada *Magic Eye* (en español *El ojo Mágico*), creada por N.E. Thing Enterprises. Cada elemento de la colección estaba formado por láminas ilustradas que representaban autoestereogramas.

Actualmente se puede obtener este tipo de imagen en formatos digitales, lo que permite crearlas en resoluciones superiores a 800x600. Además, existen programas que pueden generar imágenes autoestéreo automáticamente. Tales son los casos de Estereograma Explorer, Easy Stereo y App Sirds (para plataforma Mac).

Paralelamente, existen otras técnicas que se manifiestan como imágenes de visión libre, pero requieren de la ayuda de dispositivos de proyección, informáticos o de hardware especiales, o bien para su visionado son tratados con programas informáticos o impresoras. Se procede a detallar, en líneas generales, algunas de las características de estas imágenes tridimensionales.

- **Hologramas físicos.**

Los hologramas consisten en recreaciones virtuales monocromáticas, creadas por medio de espejos y filtros translúcidos. En su formación se emplean espejos y lentes para dirigir los rayos láser, enfocándolos en un punto determinado de una imagen ya grabada. Este proceso está basado en el principio de que una luz, al ser proyectada, llega a formar una figura patrón mediante unas alteraciones que se producen cuando sus rayos chocan con dos puntos. Esta figura patrón se convertirá en un esquema claro-oscuro de la fuente que originó la luz. En lugar de una luz normal se precisa una luz ordenada y dirigida, y es por ello que el láser cumple a la perfección esta función.

La luz del láser se divide en dos; una es la real, mientras que la otra será la que posteriormente, por medio de los espejos, se recompondrá, pero con un ligero retardo. El objeto que se desea proyectar se ha registrado digitalmente, siendo su representación exactamente igual que la del objeto original.

- **Imagen Lenticular.**

Desde su invención en 1940, la imagen lenticular ha logrado una gran mejoría gracias a los avances en la maquinaria y a la introducción de otras propiedades en los materiales. Para crear este tipo de imagen se requiere de un *software* que permita manipularla y así enviarla a la impresora, que se encargará de adaptar la imagen de forma precisa y alineada a las lentes de la superficie de la plancha.

Las imágenes lenticulares representan un medio muy útil para la industria del marketing, por lo que es habitual que las imprentas especializadas realicen impresiones en formatos de gran tamaño que se pueden incorporar en pantallas plasma, ordenadores, cámaras fotográficas, sistema de navegación GPS, etc. Por la sencillez de su mecanismo, la imagen lenticular ha ofrecido mayor rentabilidad que otras tecnologías, aunque el efecto logrado no es tan real como el que se consigue con métodos más sofisticados.

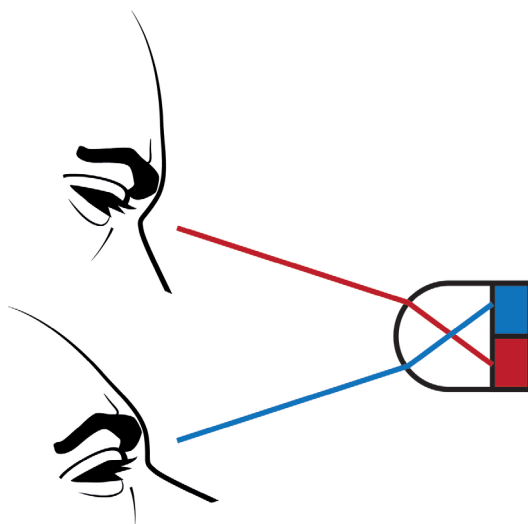


Fig. 22 La imagen vista cambia en función del ángulo de observación.

- **Fotografía integral.**

La fotografía integral tiene la capacidad de crear pantallas autoestereoscópicas con forma de ventana para reproducir objetos y escenas en tamaño real, con paralaje de movimiento y cambio de perspectiva completos cuando el espectador se mueve, e incluso con la clave de profundidad de la acomodación. Esto se consigue a través de una matriz de microlentes (similares a lentes lenticulares) tanto para tomar la imagen, como para mostrarla después, donde cada lente muestra una imagen diferente dependiendo del ángulo de visión. Así, en vez de mostrar una imagen 2D que se ve igual desde cualquier dirección, se reproduce un campo de luz 4D.

- ***Wiggle.***

La palabra *wiggle* significa mareo y en este caso define una combinación de dos imágenes captadas desde ángulos ligeramente distintos que se mueven alternativamente, creando el efecto de dimensionalidad. Es un sistema de animación que simula el efecto tridimensional basándose en imágenes de pares estéreo. Para que se produzca esta sensación de profundidad se combinan las dos imágenes tomadas, aunque hay que tener en cuenta que éstas deben estar separadas por unos pocos centímetros.

- **Dispositivos digitales, pantallas holográficas o pantallas estereoscópicas.**

En la actualidad, se investiga la aplicación de los dispositivos digitaleso pantallas holográficas para agilizar las comunicaciones, así como su aprovechamiento como herramienta para potenciar el comercio. Por ahora, se considera que estos formatos suplantarán los tradicionales anuncios publicitarios, tales como los conocidos banners animados. Un ejemplo son los Video Book, es un libro muy pequeño, aproximadamente de 5 centímetros, que contiene un reproductor de vídeo integrado, o ordenadores integrados en pantallas planas que permiten seleccionar imágenes para mostrarlas, y están pensadas para ser colgadas en la pared.

También existen las pantallas estereoscópicas y pantallas multiscópicas, que requieren de la ayuda de una barrera de paralaje, normalmente, se emplean las pantallas LCD, que se colocan enfrente de la fuente de la imagen, y consiste en una capa de material con una serie de rendijas verticales de precisión, que permiten que cada ojo vea un set distinto de píxeles.

- **Dispositivo de proyección de hologramas estático, término conocido en inglés *Holographic Display*.**

Son aparatos que pueden crear volumen sin la necesidad de emplear el movimiento mecánico. Se muestran en forma de un proyector “holográfico” y el más famoso de estos *displays*, es la *Pirámide holográfica*, este sistema es muy sencillo, está formado por una pirámide invertida creada con material de vidrio o acrílico, y consta de un dispositivo de pantalla plana donde se proyecta un vídeo en el que aparecen cuatro imágenes a cada lado (es importante que estas sean imágenes realistas y no planas). De esta manera, gracias a la reflexión del prisma, se reúne la luz de las cuatro imágenes proyectadas del vídeo, y así se forma una única imagen sólida. (Consultar en “Anexos. Experiencia técnica” apartado “Como hacer un holograma casero” pag. 476)



Fig. 23 Ejemplos de dispositivos holográficos.

- **Volumetric Displays.**

Utilizan los principios de la holografía para la reproducción de imágenes tridimensionales o pseudo tridimensionales; Tienen una gran calidad y nitidez de imagen, con gran tolerancia a la luz natural.

La holografía con láseres pulsantes transmite ráfagas de veinte a treinta nanosegundos, con las que se pueden congelar escenas tridimensionales de una evolución ultrarrápida o realizar retratos holográficos.

Los primeros intentos de llevar a buen puerto este tipo de holografía se vieron paralizados debido a que la alta intensidad de los láseres para obtener una buena resolución de los hologramas quemaba la piel de las personas. La clave para conseguir que estos hologramas sean seguros se encuentra en que la duración de las ráfagas del láser debe ser más corta. Los investigadores, en lugar de liberar pulsos a razón de nanosegundos, aumentaron la frecuencia a *femtosegundos*⁵⁶ (o de un cuatrillón de segundo), una velocidad a la cual la luz de cada píxel sigue siendo visible, pero que está muy por debajo de la intensidad necesaria para causar daños.

Por tanto, estos hologramas son seguros al tacto y permiten crear imágenes en movimiento mediante píxeles en un área tridimensional llamados vóxeles. Los vóxeles son, en definitiva, proyecciones de luz emitidas mediante láseres.

En este cortísimo espacio de tiempo, los vóxeles se concentran en una región de las moléculas de aire y les da suficiente energía para que ionicen (liberar un electrón), de esta manera pueden emitir la luz. Esta mezcla concentrada de partículas positivas y negativas se denomina plasma. Cuando la piel humana entra en contacto con el plasma, el holograma detecta las vibraciones de las moléculas de aire.

56. Un femtosegundo (fs) es la unidad de tiempo que equivale a la milbillonésima parte de un segundo.

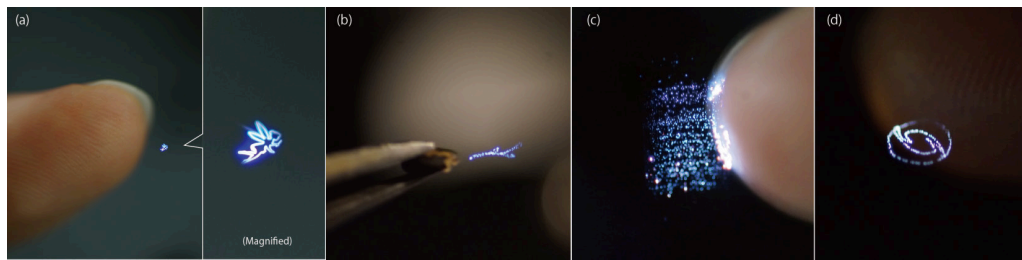


Fig. 24 Imágenes aéreas de la aplicación en femtosegundos.

Esto significa que el usuario puede interaccionar con hologramas que se encuentran suspendidos en el espacio. Un grupo de investigadores de la Universidad de Tsukuba, liderado por el profesor e investigador Yoichi Ochiai, logró desarrollar hologramas que reaccionan al ser tocados utilizando una serie de rayos láser, sistemas de lentes y espejos, Escáner Galvano, SLM,...

La imagen que se obtiene de estas cortas ráfagas de luz, basada en femtosegundos, aún no ofrece una resolución a gran escala. Sin embargo, los investigadores creen que podrían incrementar la escala de estos hologramas⁵⁷.

Este proyecto fue presentado por un grupo de investigadores. En dicho proyecto exponen lo siguiente:

Three-dimensional (3D) displays have attracted great attention over the past five decades. 3D virtual objects were originally displayed with a head-mounted display in. Since then, continuous efforts have been made to explore 3D displays that have planar surfaces, and several methods have been developed to provide stereopsis for binocular vision. The technologies that employ glasses to achieve this are based on such as anaglyphs, time-division, and polarization. On the other hand, those technologies that do not rely on glasses are based on such as parallax barrier and lenticular lens array. Although these methods can offer effective 3D images, they require calculation and generation of precise

57. *Fairy Lights in Femtoseconds: Tangible Holographic Plasma (SIGGRAPH)*. Consultar en:

[You Tube] <https://www.youtube.com/watch?v=AoWi10YVmfE#t=130>

[You Tube] <https://www.youtube.com/watch?v=96fpHVMVtxE>

images for multiple viewpoints, and users have to stay within a limited view angle. A different approach to realize advanced 3D displays is using a physical 3D space to render graphics instead of a planar surface and forming a visual representation of an object in three physical dimensions, as opposed to the planar image of traditional screens that simulate depth through various visual effects. These 3D displays, which are called volumetric displays, allow users to view the displayed images from any angle.” Yoichi Ochiai, Kota Kumagai, Takayuki Hoshi, Jun Rekimoto, Satoshi Hasegawa, Yoshio Hayasaki, University of Tsukuba Utsunomiya University, Nagoya Institute of Technology, The University of Tokyo. (SIGGRAPH 2015) *Fairy Lights in Femtoseconds: Aerial and Volumetric Graphics Rendered by Focused Femtosecond Laser Combined with Computational Holographic Fields*. SIGGRAPH 2015 Emerging Technologies Artículo N° 10 ACM New York, NY, USA 22 Jun 2015 Pag.1

Los dispositivos tridimensionales (3D) han atraído mucha atención a lo largo de las últimas cinco décadas. Originalmente, los objetos virtuales en 3D se exhibían con un casco de Realidad Virtual. Desde entonces, los esfuerzos por explorar los dispositivos 3D de superficie plana han sido continuos, y se han desarrollado diversos métodos para lograr estereopsis para la visión binocular. Las tecnologías que emplean gafas con este fin están basadas en el anaglifo, la división del tiempo y la polarización. Por otra parte, aquellas tecnologías que no dependen de las gafas se basan en la barrera de paralaje y en las matrices lenticulares. Aunque estos métodos pueden ofrecer buenas imágenes 3D, requieren calcular y generar imágenes precisas para múltiples puntos de vista, y el usuario tiene que permanecer en un ángulo de visión limitado. Una manera diferente de realizar representaciones 3D avanzadas es utilizar un espacio tridimensional físico para renderizar los gráficos, en lugar de una superficie plana, y formar una representación visual del objeto en tres dimensiones físicas, en lugar de la imagen plana de las pantallas tradicionales, que simulan la profundidad mediante diversos efectos visuales. Estas dispositivos tridimensionales, llamados “volumétricos” permiten al usuario ver la imagen desde cualquier ángulo. *Fairy Lights in Femtoseconds: Aerial and Volumetric Graphics Rendered by Focused Femtosecond Laser Combined with Computational Holographic Fields*. SIGGRAPH 2015 Emerging Technologies Artículo N° 10 ACM New York, NY, USA 22 Jun 2015 Pag.1

- **Impresión de hologramas en alta definición.**

Estas impresiones se pueden ver bajo la iluminación de bombillas LED y halógenas y se han realizado a partir de modelos digitales en 3D. La empresa *Zebra Imaging*, con sede en Austin, Texas, es una de estas empresas y ha vendido impresiones al cuerpo militar de los Estados Unidos debido al realismo topográfico que pueden llegar a mostrar.

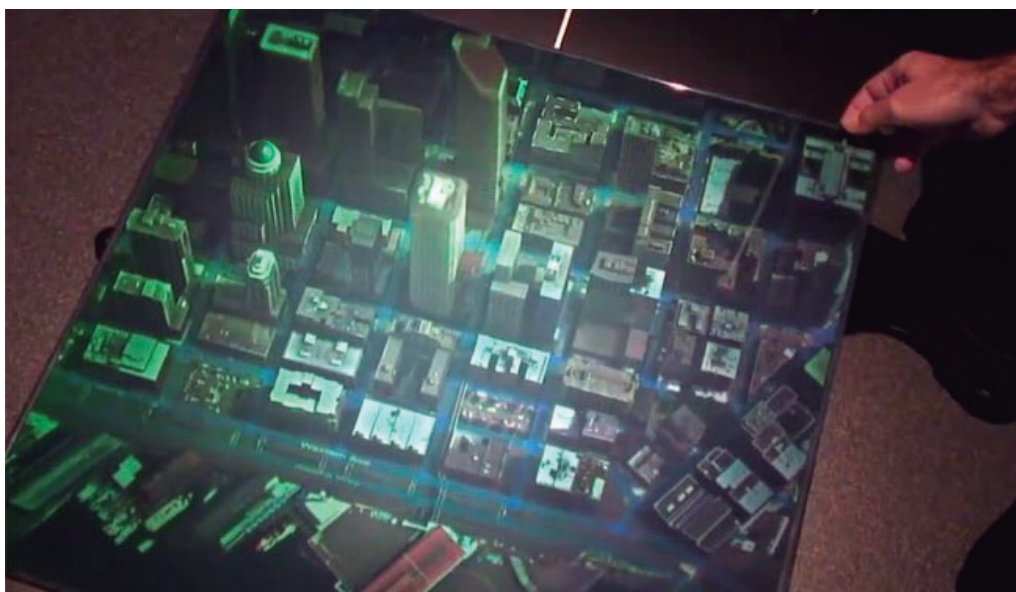


Fig. 25 Fuente: <http://www.zebraimaging.com> "We make 3D Holographic Prints from 3D models."

- **Holografías de exhibición.**

Las empresas dedicadas a la video proyección de imágenes, como *Musion Eyeliner* (creado por el inventor alemán Uwe Maass), Yamaha o Cryton Media, suelen comercializar con instituciones dedicadas a los eventos de entretenimiento.

Esta técnica es conocida con el nombre de *holografías de exhibición*, y normalmente son útiles como aplicación escenográfica o para exhibiciones en las que se requiere la presencia de alguien, por ello también se conocen como *telepresencia* (aunque realmente no es tal). Esta técnica es muy popular como ilusión óptica para crear un "holograma real", y consta de un vídeo

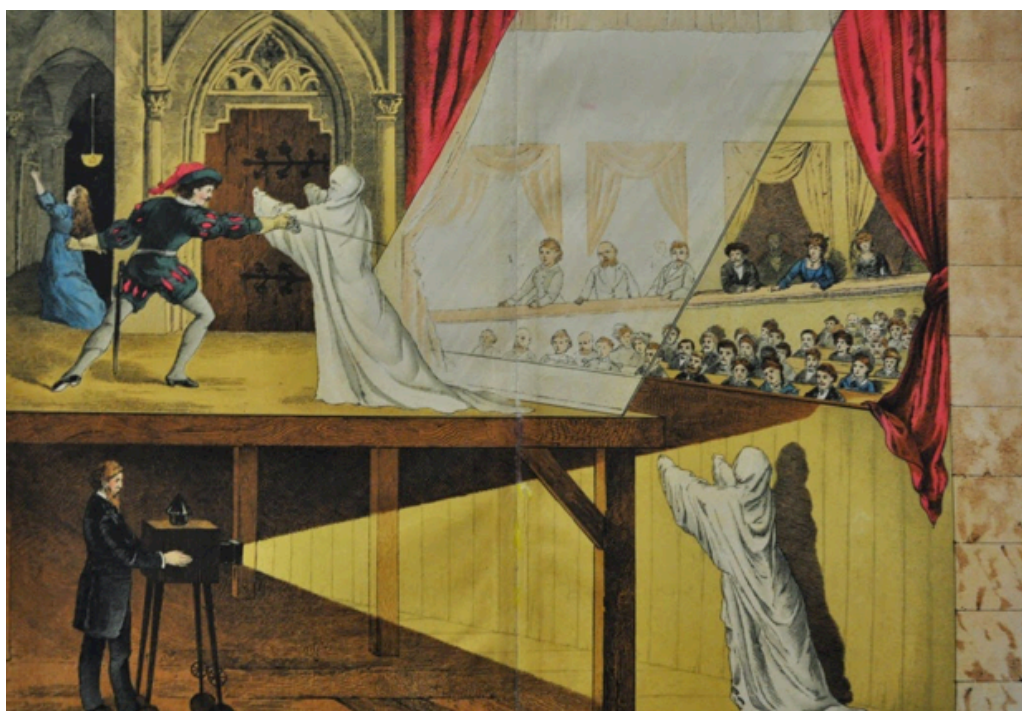


Fig. 26 Técnica tradicional de ilusionismo empleada en un teatro durante la segunda mitad del siglo XIX.

proyector HD, una superficie reflectante y una pantalla de alta transparencia. El fenómeno holográfico se crea cuando el video proyector emite la señal sobre un espejo y mediante la reflexión devuelve la imagen a una pantalla transparente. Todo este conjunto se suele instalar en una cabina o escenario para que pueda visualizarse desde un punto en concreto. Lo que le convierte en un medio muy adecuado para fines demostrativos.

También, se han empleado esta técnica para hacer presentes las figuras de personas populares situadas en distintos lugares durante convenciones o eventos musicales en vivo. En este caso, se utiliza una cámara o procesador que reconoce la presencia y los movimientos de las personas; un servidor que registre las imágenes y las envíe procesadas al medio de transmisión; un proyector de imágenes y por último, una superficie diseñada para tal fin.

Este tipo de instalaciones recuerdan a las técnicas de ilusionismo conocidas con el nombre "*Fantasma de Pepper*" en inglés *Pepper's ghost*, una técnica popularizada por el científico John Henry Pepper y el inventor Henry Dircks

por una famosa representación de Charles Dickens en el año 1862.

La técnica se basa en un escenario fragmentado en dos habitaciones. Una de las habitaciones puede ser vista por el público, se trata de la habitación principal. La segunda habitación permanece oculta al espectador y se conoce con el nombre de "*blue room*".

Una lámina de cristal, conocida como plexiglás o film transparente, es colocada entre las dos habitaciones en un ángulo recto con la finalidad de que la *blue room* quede reflejada ante los espectadores.

Este efecto se logra si la *blue room* queda justo al lado de la habitación principal quedando la lámina sobre el escenario y rotada, al mismo tiempo, sobre su eje vertical en un ángulo de 45°.

Es importante que el cristal quede todo lo invisible que sea posible para que simule su borde inferior que quedaría decorado como el suelo del escenario. De esta manera, ninguna luz se reflejaría en la lámina.

Si las luces de la habitación principal son brillantes y la *blue room* permanece a oscuras no quedaría ninguna imagen reflejada en la lámina, con lo cual solo se apreciaría el escenario. Sin embargo, en el caso de incrementar la luz de la *blue room* al mismo tiempo que se minimiza la de la habitación principal, comenzará a percibirse el reflejo. Así pues, se llevará a cabo el efecto de materializarse en el aire, y ante los ojos del espectador, lo que hay en la habitación oculta.

En este sentido, existe una variante usual de este truco, se trata del uso de dos *blue rooms*. Una quedaría detrás del cristal; y la otra, a un lado. Estas dos habitaciones podrían percibirse como visibles o invisibles según vayan alternándose sendas iluminaciones.

En el caso de que la habitación oculta se proyecte como imagen especular de la habitación principal provocaría que la imagen reflejada coincidiera exactamente con la de la habitación principal. Este efecto puede resultar de gran utilidad en el caso de querer provocar la aparición o desaparición de los objetos. Además, también podría ser utilizado con la finalidad de que un

objeto o persona reflejada en el cristal se transforme en aquello que haya detrás del cristal o viceversa. Así pues, se conseguiría un efecto de *morphing*.

Es más, podría pintarse la blue room de negro, decorando sus paredes con algunos dibujos de colores brillantes. Si así fuera, al aumentar la luz, los únicos colores que reflejarían la luz serían los brillantes trasluciéndose, así, en el escenario imágenes fantasmales que se percibirían como si flotaran en el aire.

- **Instalaciones de *mapping* interactivas.**

Esta técnica es conocida también con el nombre de *Realidad Aumentada Espacial* (SAR) o *video mapping*. En esta técnica se hace uso de proyectores digitales para mostrar información gráfica sobre la superficie de objetos.

Es una técnica que permite experimentar con las superficies de proyección, el objeto sobre el que es proyectado, se hace mediática al incorporar una capa virtual y se vuelve dinámica y cambiante, adquiriendo una nueva significación en el espacio. Además, la superficie proyectada reaccionará a las acciones del espectador. (Consultar en “Anexos. Experiencia Técnica”, apartado “En qué consiste una instalación de *mapping* interactivas”, pag. 471)

Las instalaciones de videomapping tratan de romper las barreras entre el espectador y la pantalla, donde la imagen no sólo interactúa con el espacio, sino que además, el público puede interactuar y ser partícipe en todo momento de la transformación del espacio.

Sus aplicaciones son muy variadas, al igual que los niveles de complejidad que puede adquirir. Algunos sorprendentes experimentos en el que se muestra el potencial de esta técnica, es el vídeo “*Omote*”, creado por el productor y director técnico Nobumichi Asai, conocido por crear otras proyecciones a gran escala como el *Dockyard 3D Projection Mapping* en el año 2013.

Aquí se trata de un vídeo mapping 3D combinado con el seguimiento facial en tiempo real (*tracking* o *mocap*). Para este tipo de efectos se precisa de



Fig. 27 Video mapping *Omote*.

cuatro componentes: en primer instancia, un actor que represente los movimientos, un dispositivo de captura (por ejemplo una cámara), y junto a éste un ordenador para que interprete los datos obtenidos, y finalmente un programa de animación para reconstrucción digital.

Por tanto, en vídeo mapping, la creación de espacios virtuales que simulan la realidad es fruto del desarrollo de algoritmos que procesan la visibilidad de los objetos.

- **Estereograma holográfico.**

Como su nombre indica, es un sistema de proyección polarizada en 3D. Hasta ahora se habían conocido los estereogramas holográficos a partir de imágenes sintéticas, pero no se había conseguido efectos holográficos en movimiento y en alta resolución.

Para comprender los *estereogramas de objetos en movimiento* es preciso hacer alusión a la utilización de un láser de colorante pulsado coherente, permitiendo la obtención de estereogramas de objetos en movimiento. El par estereográfico se logra al registrar simultáneamente dos perspectivas levemente diferentes sobre una película. Mediante un sistema de polarizadores adecuadamente colocados y una pupila compuesta por dos sectores circulares se consigue una imagen formada por un registro de *speckle modulados*, que al ser iluminada en la reconstrucción conserva una selectividad angular permitiendo, así, visualizar en forma independiente ambas perspectivas de la imagen real.

El artista audiovisual Stuart Warren-Hill, fundador de la empresa *Holotronica Ltd. (Bristol)*, fabricó una malla metálica altamente transparente. Este material ha sido el único capaz de funcionar con sistemas de proyección 3-D polarizados. A este conjunto se le concedió el nombre *Holo-Gauze* y se dio a conocer en el evento *EPIC 3.0* celebrado en el *Madison Square Garden*.

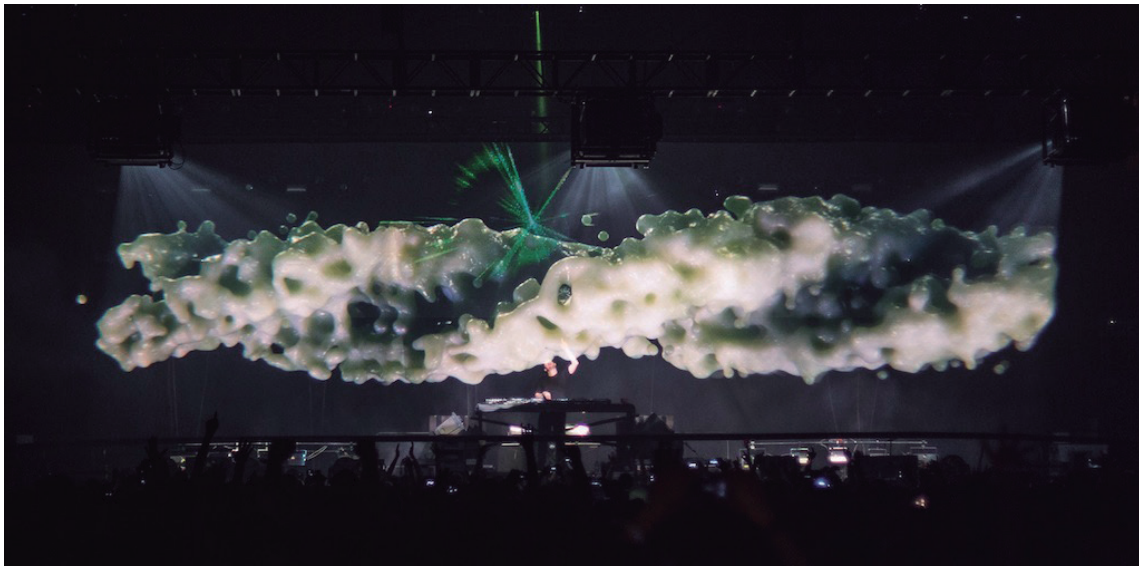


Fig. 28 Espectáculo creado con un estereograma en el Madison Square Garden.

2.4.2 Sistemas de visionado óptico-mecánico

Los sistemas de visionado óptico-mecánico son aquellos sistemas de visión estereoscópica que requieren de la ayuda de algún dispositivo o artilugio para su visionado 3D, no precisando apenas de la intervención del ordenador. Están compuestos por una estructura en la que se sitúan unas lentes o espejos, a fin de conseguir la convergencia precisa. A continuación, se procede a exponer algunos de los rasgos principales de dichos sistemas de visionado.

- **Estereoscopio.**

El estereoscopio es un sistema de lentes que transmiten la imagen de forma paralela, es decir, cada ojo por separado. Permite su ajuste para diferentes distancias de visionado y tamaños de imagen.



Fig. 29 Ilustración de Norman Rockwell, titulado "Boy with the stereoscope", para la portada nº 14 de la revista The Saturday Evening Post.

- **Método de visionado de efecto 3D con ayuda de espejos.**

Las imágenes se transmiten por reflexión hacia los oculares, realizándose la observación de las fotografías en forma ortogonal a éstas, ubicándose las imágenes homólogas a una distancia corta. El estereograma tradicional se basa en la colocación de un espejo. Éste en concreto se encuentra en la intersección de ambas imágenes, y perpendicular a las mismas. Para poder observar el efecto de profundidad de la escena, una de las imágenes debe estar invertida en el sentido horizontal, de esta manera, los ojos nuestros ojos convergen en la imagen del lado no reflectante del espejo. También existen sistemas que incorporan hasta 4 espejos, que se encuentran colocados en frente de las lentes de una cámara SLR, en inglés *Single Lens Reflex Camera*.

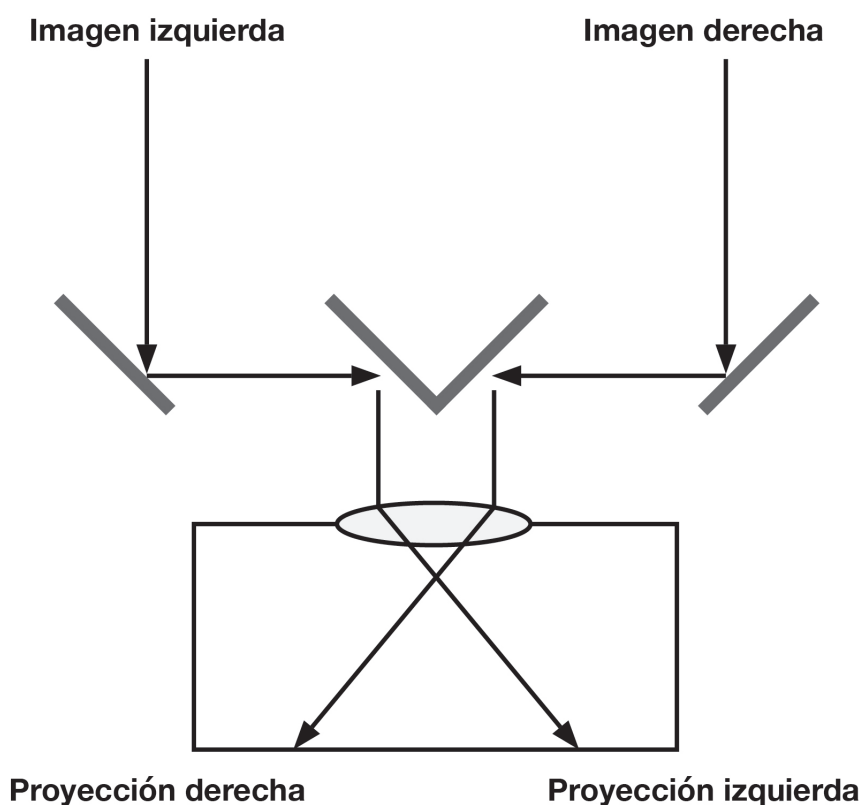


Fig. 30 Método de visionado de efecto 3D con ayuda de espejos.

- **Método de visionado de efecto 3D con ayuda de dos prismas.**

Con este método se colocan los extremos de dos prismas de 90 grados uno en frente del otro, con los lados más largos perpendiculares a las imágenes. Cada ojo mira por el prisma correspondiente, y se cambia el ángulo de los prismas hasta que la imagen de un lado quede superpuesta a la del otro, dando como resultado tres imágenes, donde la del centro da la ilusión de tridimensionalidad.

Dentro de este grupo, se conocen las gafas prisma KMQ (su acrónimo es la denominación de los tres físicos), que fueron recibidas con gran aceptación en la feria de la óptica PMMA, dónde fueron presentadas. Estas gafas cambian el canon que hasta entonces se conocía, en lugar de lado a lado en la posición de las imágenes, van a estar una sobre la otra.

La visión a través de estas gafas obliga al ojo derecho a mirar hacia arriba y para el ojo izquierdo le obliga a mirar hacia abajo, estando ambos ligeramente desviados de la línea media normal del campo visual. Por este motivo, es usual encontrar este método bajo la denominación de *sistema de visionado 3D arriba-abajo*. Resulta fundamental controlar el alineamiento de las imágenes, puesto que el resultado depende de la distancia a la que se observan.

Se recomienda emplear un formato horizontal, con un tamaño de 20x25 cm, y observarlas a una distancia de 50 cm. Este método da resultados de carácter dudoso en los que se aprecian efectos extraños, sobre todo, en la imagen inferior.

- **Sistema de visionado 3D arriba-abajo.**

- 1. Gafas pasivas.**

Se denominan así porque no precisan de ningún tipo de acción mecánica y no requieren sistemas electrónicos, alimentación ni sincronización, y se emplean para ver los pares estéreo. Permiten simular las tres dimensiones en imágenes bidimensionales.

2. Anaglifos.

En griego significa “*tallado en relieve*” o “*bajorrelieve*”, son imágenes compuestas por capas de diferentes colores mezcladas entre sí en posiciones ligeramente distintas, cuya combinación creará un efecto tridimensional en la imagen final.

Cuando se crean imágenes de relieve anaglífico, se toman dos imágenes desde dos ángulos de paralaje diferente. Estas se posicionarán una sobre la otra y se procesarán añadiéndoles filtros de distinto color en función de su posición izquierda o derecha. Normalmente se emplean colores con características tales que los hagan totalmente opuestos entre sí, de esta manera la combinación de ambos no interfiere. Las combinaciones más habituales son las formadas por rojo-cian, azul-amarillo o verde-magenta, para poder visualizar la imagen en relieve es necesario utilizar unas gafas con los mismos colores que se emplearon en su composición final. El cerebro es “engañado”, puesto que la visualización une o separa los ángulos originales en las que fueron creadas. De esta manera, se produce el relieve y la separación de los elementos. Si se emplea el sistema rojo-cian, el rojo está sobre el ojo izquierdo, el resultado es que no puede ver el color rojo pero sí el cian; y lo mismo ocurre en el lado derecho que es el cian, no ve el cian, pero sí el rojo. Se produce lo mismo en cualquier combinación.

Una vez más se ha de insistir en los efectos producidos en función del color. Si situamos un filtro rojo sobre una de las imágenes se evita que el ojo filtrado del mismo color vea esa imagen. Es decir, si una imagen tiene una tonalidad roja y la observamos a través de un filtro rojo, como resultado no veremos el color rojo de esa imagen, sino que veríamos blanco, o bien de una forma muy limitada.

Las gafas anaglíficas dieron pie a una versión más evolucionada que se comenzó a usar en la década de los 90 del siglo XX de la mano del ingeniero norteamericano John Norling. Las gafas polarizadas están compuestas por unas lentes que filtran las ondas de luz, proyectándolas a ciertos ángulos. Este tipo de gafas permiten ver por cada ojo un determinado número de imágenes, consiguiendo una sensación de profundidad o efecto 3D de mayor calidad y mejor visionado. Existe una gran variedad de patrones de color en el mercado, se pueden encontrar algunas como:

- **Colorcode.**

También llamado ámbar, que fue creado por la empresa sueca Colorcode 3-D. Precisa de imágenes más brillantes debido a la opacidad de sus tonos, y algunos modelos llevan una corrección óptica.

Los colores que reproduce son muy reales, por lo que es un sistema muy bien acogido en la industria del cine. Es el único anaglífico que presenta un patrón de colores completo, y el que menor nivel de ghosting presenta. Las combinaciones de color pueden ser: ámbar-azul, amarillo-azul, marrón-azul, ocre-azul. El color ámbar se coloca en el ojo izquierdo y el filtro azul en el derecho; el izquierdo recibe las variaciones en colores espectro, mientras que el azul se encarga de las escalas grises y la profundidad.

- **Anachrome.**

Es una técnica de compensación para tener menos paralaje, aunque en realidad se trata de una variación del sistema rojo-cian. Utiliza un filtro de cian un poco más transparente y el filtro de color rojo es más denso, lo que ayuda a reducir la rivalidad retinal causada por el desequilibrio de

luminosidad, y a reducir el efecto fantasma del cian.

– Trioscopic.

Se trata de un sistema anaglífico, caracterizado por presentar menos aberraciones cromáticas y por ofrecer una excelente gama de tonalidades. El filtro verde se posiciona en el lado izquierdo y el magenta puro en el lado derecho.

● Sistema Polarizado.

Este sistema utiliza la técnica de micropolarización, en la cual ambas imágenes se muestran al mismo tiempo en una base de alternancia línea a línea, es decir, una imagen polarizada en las líneas pares de la pantalla, y la otra en las impares. Así, la frecuencia de imagen es la misma que en el contenido 2D, aunque se reduce la resolución vertical de las imágenes a la mitad.

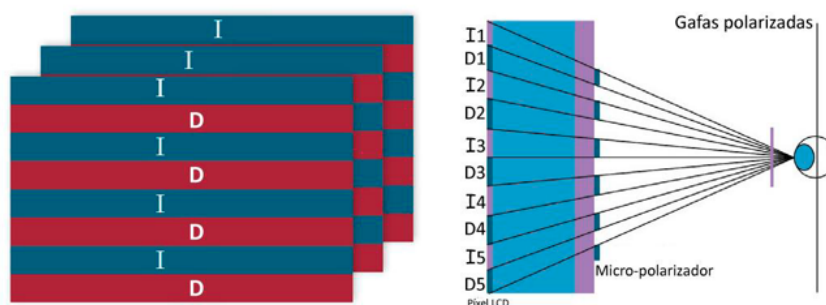


Fig. 31 Sistema micropolarizado. Ambas imágenes comparten el mismo campo, en líneas alternas. Las gafas polarizadas hacen que un ojo pueda ver un conjunto de líneas (en este caso, las correspondientes a la imagen izquierda), y que el resto le sean bloqueadas.

Las gafas polarizadas es el sistema más común que se conoce para las imágenes en movimiento, anteriormente se empleaban los anáglifos. Frente a las gafas, los anáglifos no ofrecen la misma profundidad y mismo espectro de tonalidad. Dentro de esta categoría existen dos tipos diferentes (lineal o circular) según sea el método que utilizan para filtrar las imágenes. En ambos casos estas se proyectan superpuestas en la pantalla y son las gafas las que se encargan de mostrar a cada ojo la imagen correspondiente.

1. Polarización lineal.

En este sistema se utilizan filtros ortogonales que están orientados de la misma manera que los del proyector, con lo que cada ojo deja pasar la imagen que tiene el mismo ángulo que el suyo, que normalmente oscila entre los 45° y los 135° . La desventaja de este sistema es que el espectador tiene que mantener la visión estática y no moverse, puesto que en ese caso se perdería el efecto hasta que vuelva a quedarse quieto, lo cual puede llegar a resultar incómodo si la proyección es larga. En la imagen se puede apreciar como a la izquierda la fuente emite en varias longitudes de onda, pero el filtro sólo deja pasar aquellas que son verticales.

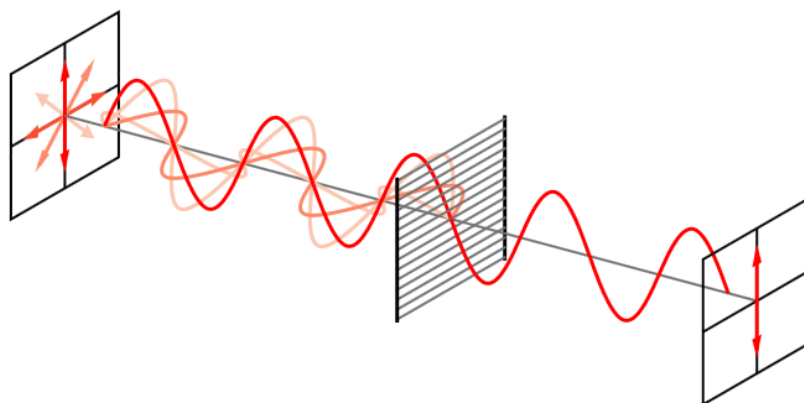


Fig. 32 El polarizador lineal convierte un haz no polarizado en uno con una única polarización lineal. Se transmiten los componentes verticales en todas las ondas, mientras que los componentes horizontales se absorben y reflejan.

2. Polarización circular.

Cada imagen rota en un sentido, es decir, en sentido horario o antihorario, y cada cristal tapa la imagen que rota en el sentido inverso al suyo mediante polarizadores circulares montados al revés. Tiene la ventaja frente a la polarización lineal de que el espectador puede mover ligeramente la cabeza y perder sólo parte del efecto durante menos tiempo. En la imagen vemos el efecto del filtro cuando la imagen rota en sentido horario.

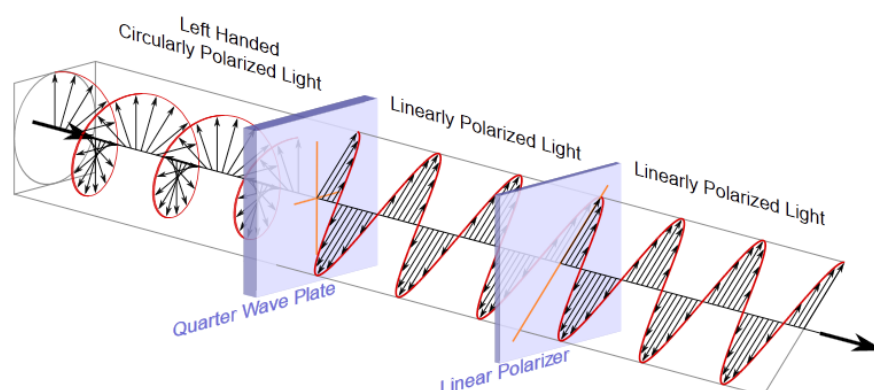


Fig. 33 La luz polarizada en el sentido de las agujas del reloj es transformada en luz linealmente polarizada con la misma dirección que el eje de transmisión del polarizador lineal, por lo cual lo atraviesa. La luz polarizada en el sentido contrario de las agujas del reloj se habría polarizado en dirección perpendicular, siendo después bloqueada por el polarizador.

2.4.3 Sistemas de visionado electrónico

Las compañías han tratado de simplificar los sistemas de visualización, llegando a prescindir de dispositivos externos. Es el caso de las pantallas estereoscópicas o de las pantallas multiscópicas, aunque la búsqueda de nuevas experiencias, sobre todo, inmersivas han impulsado al desarrollo vertiginoso de los sistemas de visionado electrónico.

- **Gafas Activas.**

La experiencia visual más conocida es la proporcionada por las *gafas de proyección 3D* o *gafas activas* para los televisores y pantallas que tienen esta tecnología 3D. Aunque su desarrollo obedezca al reclamo de una experiencia compartida entre varios usuarios, esta tecnología no posee todo el realismo que ofrece una experiencia inmersiva.

- **Head Mounted Display (HMDs).**

Esta optimización es algo que las compañías han tenido muy en cuenta, para experimentar con los dispositivos de salida o cascos inmersivos conocidos como *Head Mounted Display* (HMDs), en español son conocidas como casco de Realidad Virtual, se trata de una tecnología que permite al usuario formar parte del sistema, perdiendo el contacto con la realidad y recibiendo únicamente los estímulos del mundo virtual. Se crea un vínculo entre el usuario y el entorno, algo que muchos expertos piensan que, por medio de unas gafas con tecnología avanzada, se podría llegar a optimizar hasta el punto de obtener la sensación de tridimensionalidad idónea, pudiendo llegar a complementar todas las sensaciones que una persona es capaz de sentir en un entorno real.

El término de este sistema genera una gran duda en su parte técnica, ya que en realidad se trata de un casco de visión estereoscópica, basado en materiales más sofisticados, como la incorporación de sensores que registran en tiempo real la posición y orientación de la cabeza del usuario, pantallas con lentes y espejos semitransparentes para aumentar la resolución y el campo de visión (CRT, LCDs, LCoS o OLED), etc.

Existen 3 tipos de cascos HMD: *monocular*, de una sola pantalla; *binocular*, que consta de dos pantallas que representan una imagen ligeramente distinta para cada ojo como sucedería en el sistema visual humano; y, las *gafas de obturación*, que se conectan a la pantalla mediante un conector de señal sincronizado estereoscópico a un receptor de señales infrarrojas. El mecanismo trata de proyectar dos películas a la vez, una para cada ojo, con fotogramas intercalados. Si la frecuencia de proyección es suficientemente elevada, el mecanismo ojo-cerebro no detecta los parpadeos, consiguiendo una sensación visual muy natural, aunque es considerado uno de los paradigmas menos inmersivo.

Desde los primeros cascos inmersivos⁵⁸, se pueden analizar distintas variaciones en el diseño de sus modelos. Sin embargo, el mecanismo interno mantiene los mismos principios estereoscópicos, aunque se ha mejorado en los materiales, como en el caso de las pantallas digitales o de alta definición. Además, presentan mejoras en aspectos como la ergonomía y el sonido integrado, así como en los dispositivos de entrada y salida para lograr proporcionar estímulos.

De hecho, algunos HMDs son equipados con rastreadores de ojos (eye-tracking) que permiten al ordenador descubrir donde está mirando el usuario. Así pues, dependiendo de la mirada, el ordenador puede cambiar la información mostrada, dar detalles adicionales a la pantalla, etc.

Los sistemas de visualización HMD pueden también aportar beneficios en determinadas circunstancias que supongan un elevado coste en términos económicos o en situaciones de alto riesgo. El usuario puede entrenar ciertas destrezas, habilidades intelectuales o capacidades sociales gracias a las prácticas que se pueden realizar con los simuladores, como es el caso de un entrenamiento médico o en el ámbito de la educación.

Los sistemas virtuales más avanzados en la familia binocular son Project Morpheus (RV) para PS4 y Oculus Rift. Shushei Yoshida, presidente de la compañía japonesa *Sony Computer Entertainment WorldWide Studios*, presentó Project Morpheus en la convención *Electronic Entertainment Expo*, también conocida como E3, en la ciudad de los Ángeles. Actualmente, la versión de este prototipo aún se encuentra en proceso de desarrollo, aunque el sistema está muy mejorado. Este sistema de visionado contiene una pantalla OLED RGB de 5.7" con una resolución de 1920 x 1080p. Tiene

58. En 1991 *W-Industries* de Gran Bretaña, construyó el primer sistema de juego con cascos HMD. El casco llamado *Visette* se diseñó específicamente para el videojuego *Virtuality*, el cual estaba equipado por un LCD, sonido cuadrafónico, comunicación oral entre los jugadores. La interacción se realizaba con un joystick 3D, o bien se empleaba un volante y unos pedales activos para representar un coche.

sensores de movimiento (trackers LEDs) que se adaptan a la cabeza gracias a los acelerómetros y giroscopios integrados para hacer un seguimiento de 360°. Los juegos pueden ser renderizados a 120 fps que, al ser combinada con la alta tasa de refresco de la pantalla OLED, Morpheus es capaz de mostrar con gráficos muy suaves.



Fig. 34 *Project Morpheus (RV).*

Oculus VR fue fundado por Palmer Luckey, que, con la idea de perfeccionar los *head-mounted display* existentes, creó su primer prototipo a los 18 años en el año 2011, al que llamó CR1. En su sexta generación de prototipos fue nombrado Rift, estaba destinado para ser vendido en la plataforma Kickstarter como un *Development kit*, el cual podía ser confeccionado al gusto del consumidor.

Tras conseguir numerosos inversores, se realizaron algunas mejoras en el prototipo y en consecuencia del gran éxito se fundó la compañía *Oculus VR*. Más tarde, el 25 de Marzo de 2014, la empresa fue adquirida por la red social *Facebook* por un valor de 2.000 millones de dólares. Actualmente, *Oculus VR* es una empresa líder en Realidad Virtual inmersiva.

La versión de *Oculus Rift* para el consumidor fue mostrada en el E3 en junio de 2013, y aunque aún esté en pleno desarrollo se han realizado varias actualizaciones.

Las características más recientes son: tiene una pantalla OLED de 960x 1080p con 110° de ángulo de visión y se actualiza a 120 fotogramas por segundo. Tiene sensores de movimiento internos gracias a los acelerómetros, magnetómetros y giroscopio de 3 ejes.



Fig. 35 Gafas Oculus Rift.

En los últimos años se han sumado otros sistemas de interacción más elementales basados en dispositivos de bajo coste. Durante el año 2003, los usuarios de la plataforma *Kickstarter* subvencionaron un dispositivo conocido como *vrAse*, capaz de convertir en 3D la imagen del terminal de un *Smartphone* en un gran panel en tres dimensiones.

Tal y como suelen funcionar los HMDs binoculares, este sistema óptico permite la reproducción de contenido en *Side by Side* (SBS), un formato que divide la información visual para cada ojo independientemente generando así la profundidad.



Fig. 36 Dispositivo vrAse.

Aunque no han tardado las grandes compañías en producir este sencillo prototipo con materiales más pobres para acercar la Realidad Virtual a todos y que sea más accesible. Es el caso de las *Google Card board*, unas gafas hechas con una simple caja de cartón que se monta y desmonta en tres sencillos pasos. Para hacer uso de este accesorio es necesario descargar una aplicación.

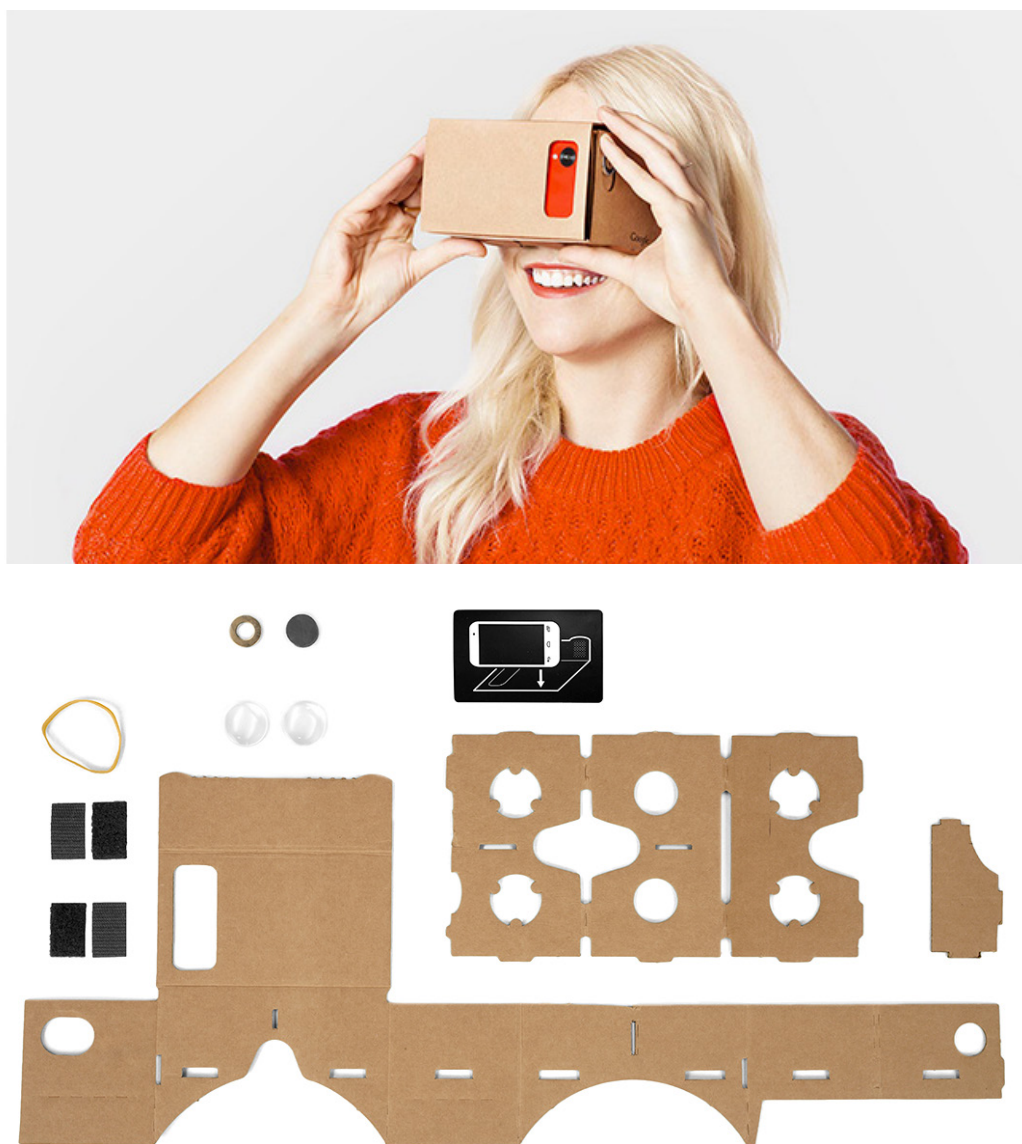


Fig. 37 Google Card board.

Las gafas *Gear VR de Samsung*, con un diseño más estudiado y menos modesto, constituyen un dispositivo para el que se necesita emplear los *Smartphone* de Samsung si se desea visualizar las imágenes estereocópicas. Un punto poco favorable. Precisamente, ese el motivo por el que sólo puede estar destinado a consumidores de la marca. De hecho, las pantallas LCD de Samsung emplean una resolución alta conocida como *WQHD*, que consigue una densidad de píxeles de hasta 587 ppp.

Este sencillo prototipo constituye la mejor versión existente hasta la actualidad, por los pequeños detalles que contiene. A diferencia de otros dispositivos, puede calibrar la vista con una ruleta situada en la parte superior, un mecanismo muy sencillo que se encarga de acercar o alejar el móvil para ajustar el punto óptimo si somos miopes o bien si no tenemos ningún problema en la vista.



Fig. 38 Gear VR de Samsung.

Un problema muy común que presentan los dispositivos HDM es la fatiga visual. Los ojos se cansan con facilidad, las pantallas se encuentran muy cerca de la cara y emiten luz que llega directamente de la retina, a menudo a una intensidad superior a la que estamos acostumbrados.

Hay otros sistemas que incluyen dioptrías para aquellas personas con deficiencia visual, por ejemplo, los binoculares Sony DEV-5012, una opción que podría ser incorporada en estos sistemas de visualización, aunque no se haya incluido si existen dispositivos que permiten utilizar las gafas como el actual sistema de Oculus.

- **Dispositivos hápticos⁵⁹.**

Los dispositivos de entrada y salida más desarrollados son los hápticos, que simulan el contacto físico entre el mundo virtual representado en la computadora y el usuario, es decir, permite al usuario tocar, sentir, manipular, crear y cambiar objetos tridimensionales de los cuales se simula su comportamiento dentro de un ambiente virtual. Para este tipo de dispositivo suele ser habitual utilizar guantes de datos con sensores fibroópticos de modo que el ordenador recibe la información obtenida por el movimiento del usuario.

Los guantes sensitivos.

Para lograr una interacción con el sistema de Realidad Virtual (como tomar, soltar objetos virtuales, mover y rotar en todos los ejes) basada en la posibilidad de grandes gestos es necesario que las herramientas de entrada/salida contengan dentro de un volumen dado la libertad de la mano. De la misma manera, también es necesario que pueda disponer de la detención de los movimientos de todos los dedos. Los guantes sensitivos son una herramienta que ha sido creada para hacer frente a estas exigencias. La mayor parte están equipados de sensores 3D que miden todos los valores angulares de las articulaciones.

Estos guantes presentan un gran volumen de trabajo mayor que otros sistemas tecnológicos (palancas de mano, sistema de bolas,...), por tanto, su sistema de control resulta complejo para una clara exposición sobre el mismo. A veces, estos sistemas llevan sensores adicionales para las articulaciones menos importantes y los movimientos de abducción/aducción y de oposición y reposición.

59. Háptica, designa la ciencia del tacto, por analogía con la acústica (oído) y la óptica (vista). La palabra proviene del griego háptō (tocar, relativo al tacto).

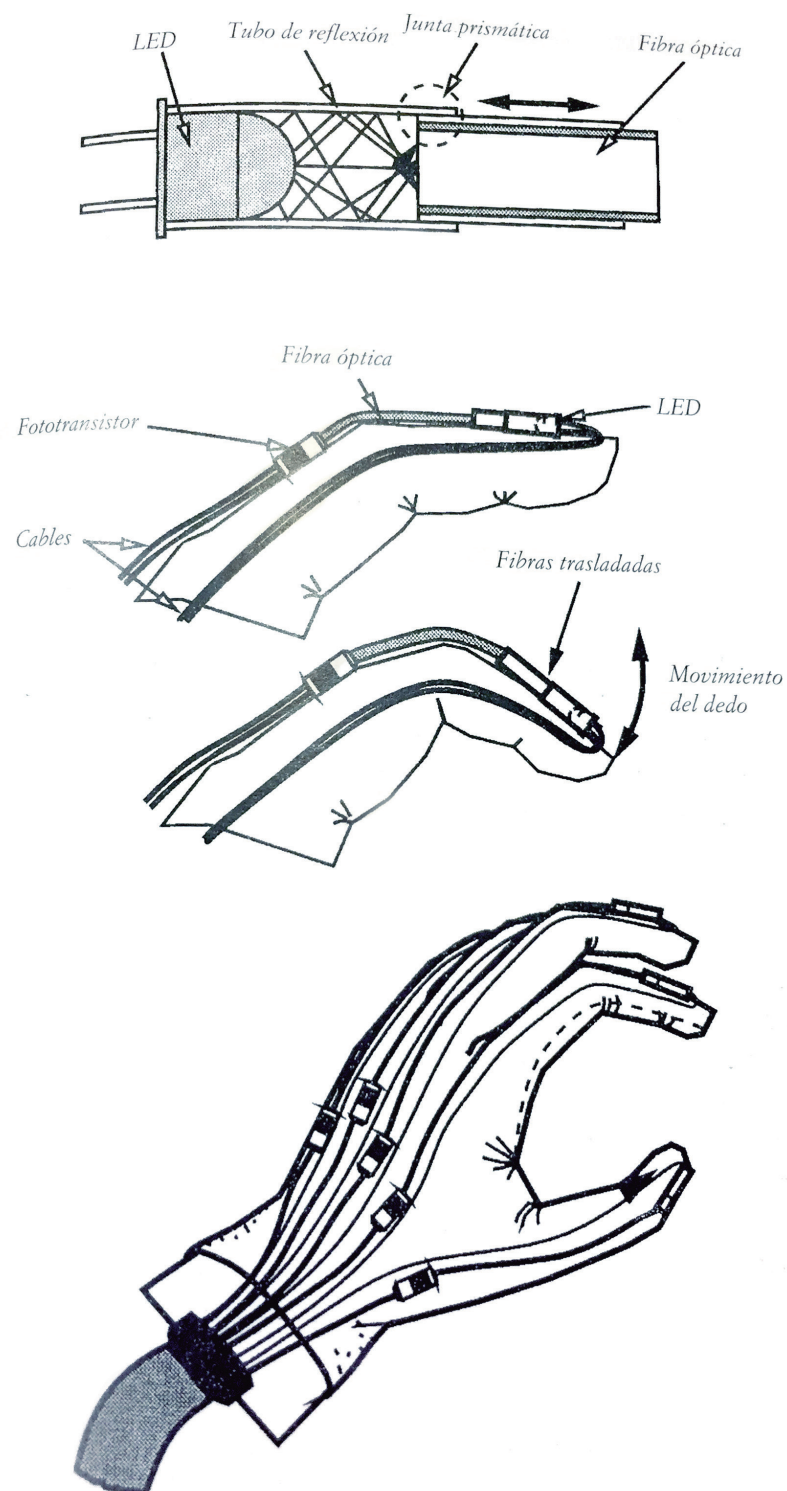


Fig. 39 Sensor sensitivo lineal para guantes sensitivos. Según Wright S, 1990.

El primer guante sensitivo en comercializarse fue el *DataGlove* en 1987, inventado por Thomas Zimmerman y respaldado por la NASA, aunque luego lo confió a VPL para que lo patentara (US Patent 4.542.291). El *DataGlove* incorpora fibras ópticas montadas sobre un guante ligero y elástico en lycra y un sistema Polhemus Isotrack 3D como sensor de posición.

Los dedos están dotados de un bucle de fibra en cada articulación que permite la medición de posición. Las fibras están sumergidas en sujeciones de plástico que permiten pequeñas traslaciones cuando se dobla el dedo. En su configuración estándar, sólo hay dos sensores montados en el dorso de cada dedo para detectar los principales movimientos de flexión de las articulaciones.

Las fibras ópticas están agrupadas y conectadas a una interfaz optoelectrónica. Un extremo de cada bucle óptico está conectado a un LED y la luz que vuelve al otro extremo es captada por un fototransistor. Cuando la fibra está recta, no hay atenuación de la luz transmitida ya que el índice de refracción de la envoltura cilíndrica es inferior a la del material central. A la altura de las articulaciones, la envoltura de la fibra está preparada para que la luz pueda salir cuando el usuario doble el dedo. De este modo, puede medirse indirectamente el valor del ángulo articular mediante la medición de la intensidad de la luz reflejada por la fibra. (Burdea, G. y Coiffet, P. 1996. PP. 48-61)

Una problemática que presentaba estos guantes residía en la calibración de los sensores de fibra óptica. La medición de la intensidad de la luz, reflejada por la fibra, debe hallar el verdadero valor del ángulo articular. Esta intensidad es distinta según a qué ángulo articular vaya dirigido, a los sensores principales o a los complementarios (de abducción/aducción). Estos errores los identificó Scott Wright en 1990, quien patentó un *sistema de detección del movimiento de atenuación óptica*.

En lugar de colocar los LED y los fototransistores en una unidad electrónica separada (como en el *DataGlove*, los colocó directamente en los dedos del guante.

De este modo, la fibra óptica es mucho más corta, y posee un movimiento de traslación dentro de un tubo reflector mecánico. Así la cantidad de luz detectada depende de la amplitud de la curvatura del dedo.

Los citados descubrimientos constituyen ejemplos primarios de lo que se conoce, actualmente, como guantes hápticos. Existen otros con características similares como el CyberGlove que gracias al diseño de Jim kramer permite una mejor destreza en el interacción; el PowerGlove con sensores de ultrasonido y de flexión con tinta conductora dispuesta sobre sustrato, o la curiosa estructura metálica exosquelética del Dextrous Hand Master, equipada con 20 sensores de efecto Hall para los cinco dedos.

Dentro del marco de estos diseños, durante años se ha estudiado la forma de mejorar la efectividad en respuesta háptica, precisión y seguimiento del movimiento de nuestras manos. Sin embargo, su desarrollo se ha visto limitado por los altos costes que supone la fabricación de su materia prima a gran escala. En la actualidad, se han mejorado en algunos aspectos técnicos y de diseño. En este sentido, el dispositivo más avanzado que se conoce es el *GloveOne*⁶⁰. Fue creado por una empresa de Almería, es un sistema inalámbrico equipado con sensores de movimiento inercial⁶¹ (IMU)

Este sensor de movimiento inercial combina a su vez tres sensores para dar 11 ejes de datos: 3 ejes de acelerómetro, 3 ejes de giroscopio, 3 ejes de compás (magnetómetro), presión barométrica, altitud y temperatura.

Estos guantes permiten combinarse con algunas de las tecnologías más innovadoras que hay en el mercado del videojuego (como Oculus, Steam VR, LEAP Motion, Intel RealSense, Kinect,...).

60. Página oficial de Gloveone www.gloveonevr.com

61. En la actualidad es un sistema muy común en aplicaciones de todo tipo.

- **Realidad Aumentada (*Augmented Reality* conocida con su abreviatura AR).**

Anteriormente, se han contemplado dispositivos que pertenecen a la familia inmersiva en la que las imágenes son generadas por un ordenador (CGI – *Computer Generated Image*). Dentro de esta rama, existen otros tipos de dispositivos de salida que han alcanzado un gran desarrollo, como las aplicaciones de *Realidad Aumentada*, también conocida con el nombre de “*realidad mezclada*” o “*realidad mixta*”. El usuario no percibe un mundo virtual generado completamente por un computador, sino que percibe una superposición de los datos sintéticos sobre el mundo real. La vista es el sentido más involucrado habitualmente, utilizando para ello un tipo de dispositivo que permite combinar lo que el usuario está percibiendo junto con la información adicional que genera el ordenador. Hay dos maneras de combinar CGI con el mundo real: *Optical See-Through*, en el que el usuario puede observar directamente el mundo real a través de un espejo semitransparente o una pantalla plana de LCD, donde se inserta la imagen virtual o CGI que el usuario verá superpuesta a su visión del mundo real; y el *Video See-Through*, con el que el usuario percibe su entorno exterior a través de la imagen generada por la cámara, es decir, captura las imágenes del mundo real para digitalizarlas electrónicamente con CGI.

Por otra parte, los *optical head displays* o *HMDs ópticos* constituyen sistemas más complejos, puesto que, el usuario ve directamente el mundo real a través de la pantalla aunque el dispositivo se encuentre apagado. Este hecho se produce si tenemos en cuenta que estos sistemas constan de un combinador óptico, que bien puede ser un espejo semitransparente o una pantalla de LCD (*liquid cristal display*) transparente, donde se inserta la imagen virtual que el usuario verá superpuesta a su visión del mundo real.

Las gafas *Google Glass* (2013), son un prototipo de HMD de AR desarrollado por la compañía Google X Lab. El propósito de este proyecto no es otro que el de mostrar información disponible de los smartphone sin utilizar las

manos, permitiendo también el acceso a Internet mediante órdenes de voz. La patilla derecha del dispositivo tiene una superficie táctil que permite a los usuarios controlar el mismo mediante gestos como desplazar y tocar el dedo por el touchpad.

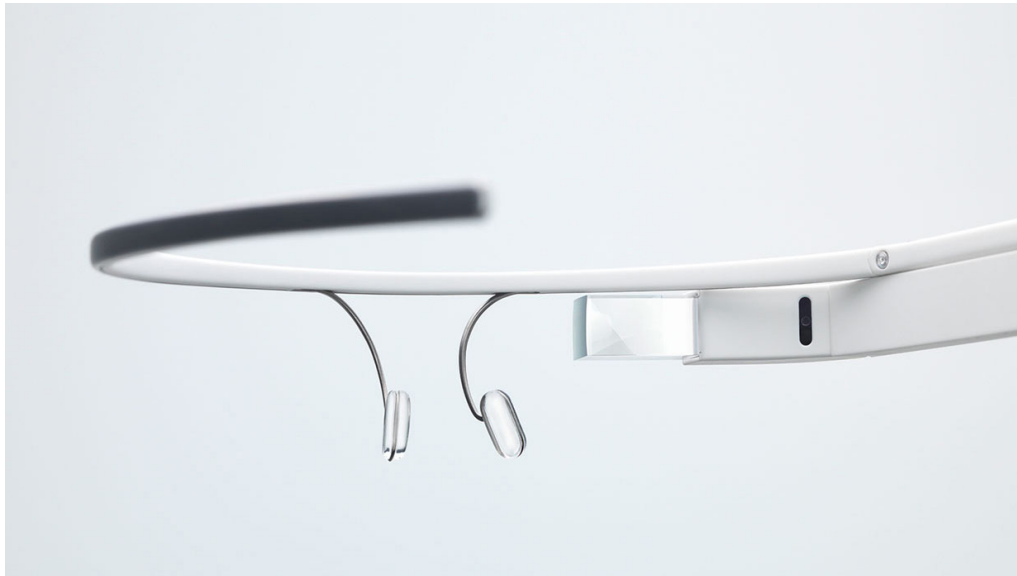


Fig. 40 Las Google Glass.

El proyecto más avanzado de Realidad Aumentada está siendo desarrollado por *Microsoft* bajo el nombre de *Hololens*, y fue presentado en la convención E3 año 2015, junto con Oculus Rift y Morpheus.

Project Hololens consiste en un visor que logra esconder partes de la realidad y sustituirlos por gráficos computerizados. La manera en que se funde con la realidad es muy fluida, pero aún se desconoce cuales son los aspectos técnicos para que sea posible realizar su función. La única información que se ha podido obtener sobre este dispositivo es a través de las experiencias compartidas de algunos usuarios; en general, las opiniones son positivas, aunque creen que se puede incluir la emulación de los objetos con lo que se puede obtener con los dispositivos de Realidad Virtual.



Fig. 41 *Project Hololens.*

2.5 Sinopsis de la ciencia ficción como fuente de inspiración y recreación

Dejando de lado los referentes nominales y políticos que han construido las ideas culturales del futuro, no podemos concretizar en qué momento se firmó una alianza entre lo real y lo virtual y lo cierto es que si analizamos la historia o los quehaceres del hombre, comprobaremos que existe cierta continuidad en la práctica de la inmersión, ya que se ha mantenido de una forma inconsciente en nuestra mente, en las técnicas narrativas de la literatura, en el cine y en la hipermedia.

Se considera que la literatura y el cine se adelantaron al desarrollo de las nuevas tecnologías, y que han constituido un referente para los avances científicos.

Esta fascinación por los nuevos medios dio lugar a todo un subgénero de la Ciencia Ficción, surgido en los años 70, aunque para muchos críticos y lectores el momento crucial de su desarrollo fue en el año 1926, fecha en que se publicó el primer número de la revista norteamericana *Amazing Stories*, editada por el escritor luxemburgués Hugo Gernsback (1884-1967). Esta publicación consistía en un romance científico⁶², que ayudó a definir y poner en marcha un nuevo género de *ficción pulp*⁶³.

La Ciencia Ficción se caracterizaba por reinterpretar informaciones científicas, mitologías tanto clásicas como modernas, mostrándonos incluso relatos de viajes estelares o a través del tiempo con cierto carácter romántico.

Desde entonces, se habían leído y visto conceptos con tintes científicos que replanteaban los “futuros posibles” u otras alternativas empíricas, especulando sobre el destino de la humanidad y recreando así un sinfín de tecnologías imaginarias,

62. Fue una gran fuente de inspiración para muchos escritores posteriores.

63. Pulp es un término que hace referencia a un formato de encuadernación en rústica, barato y de consumo popular, de revistas especializadas en narraciones e historietas de diferentes géneros de la literatura de ficción.

haciéndonos cuestionar nuestros conocimientos y valores existentes.

Pero pronto la imagen romántica comenzó a desvanecerse con otras reinenciones literarias del imaginario futurista, enmarcadas dentro de la conocida como Nueva Ola (1950). El origen de este movimiento fue la revista británica *New Worlds*, (Nuevos Mundos) editada por Michael Moorcock desde 1964. En ella se asociaron escritores como James Graham Ballard (1930-2009), Brian Wilson Aldiss (1925) y John Brunner (1934-1995).

Durante esta etapa, la ciencia ficción se alejó de los típicos temas tales como el viaje espacial o la representación de un futuro lejano, y se vio más interesada en el impacto de la tecnología en la vida del ser humano y la problemática del siglo XX ante las catástrofes medioambientales. En concreto, destaca su preocupación por el impacto de la tecnología tanto en el presente como en el futuro. Ballard, en su novela *Crash* (1973), anota en la introducción: *el futuro está desapareciendo por causa del presente*.

Después de la Nueva Ola se instaló el género del **ciberpunk**, en el que el argumento de la trama se centra a menudo en un conflicto entre **hackers**, inteligencias artificiales y megacorporaciones, todo localizado en un futuro cercano del planeta Tierra, en oposición del futuro lejano o panorama de encuentros galácticos. Las visiones de este futuro suelen ser distopías post-industriales, pero están normalmente marcadas por un fomento cultural extraordinario y el uso de tecnologías en ámbitos nunca anticipados por sus creadores.

Sin embargo, la sensibilidad del *ciberpunk* se asemeja en cierta medida a otros géneros literarios como la “*novela negra*” o la “*generación beat*”, donde el protagonista se encuentra atrapado en medio de intrigas de poderosas fuerzas e intenta mantener con dificultad algo de autenticidad y decencia de cara a los planes y proyectos cada vez más malvados de los poderosos.

Otro de los temas tratados insistentemente por el *ciberpunk* es la denuncia de la decadencia social y moral de las grandes ciudades. La narrativa y la representación visual de la ciudad se convierten en un manifiesto de tristeza y soledad. Deshumanizadas, robotizadas, utilitarias e insensibles, las grandes urbes se presentan como lugares donde solo se puede sobrevivir. Espacios sombríos, lluviosos, en los que suceden las sórdidas historias de unos personajes de victorias efímeras o ya vencidos por el sistema.

Son William Gibson (1948) y Bruce Sterling (1954) los más importantes escritores de ciencia ficción de tendencia *ciberpunk* de las últimas tres décadas, que describen la ciudad, los individuos o la naturaleza desde una crítica a las acciones del pasado de la vida real, y que presentan una imagen de cómo va a ser el futuro dadas las acciones del presente.

Aunque no fue hasta Noviembre de 1983 cuando el escritor estadounidense Bruce Bethke (1955) publica una novela corta en la revista *Amazing Science Fiction Stories*, titulada con el mismo nombre. En ella se dio a conocer el término "*ciberpunk*". Sin embargo, Bethke comenta que inventó el término ciberpunk (cyberpunk en inglés), pero no la ficción ciberpunk, que debe asociarse principalmente con William Gibson.

Como ya se ha mencionado, el fenómeno "ciberespacio" fue introducido por el escritor William Gibson, popularizado en su novela *Neuromante* (1984). Para Gibson y sus contemporáneos, el ciberespacio es una representación gráfica en la que diferentes elementos interactúan en el espacio. Se trata de una especie de combinación entre la Realidad Virtual y la representación simbólica de interfaces. A su vez, los usuarios perciben esta Realidad Virtual gracias a visores y conexiones similares a los actuales cascos destinados para tal fin.

Con el paso del tiempo, las nuevas tecnologías nos han permitido desarrollar con éxito la idea del ciberespacio. Cuando la Realidad Virtual irrumpió a principios de los años 90, tenía más de pretenciosa palabrería triunfalista que de sistema revolucionario. La presentaron como si sus aplicaciones estuvieran perfectamente desarrolladas.



Fig. 42 Escenas de la película *Los juegos del hambre*, título original *The Hunger Games*.

La mayoría de nosotros no nos dábamos cuenta, a principios de los noventa, de que aquellas descripciones precisas y entusiastas de las aplicaciones de la RV eran en su mayoría castillos en el aire y que un gran trecho separaba la RV «real» de la tipo virtual. (Laure Ryan, M. 2004. P. 71)

Por otra parte, la imaginación de la literatura ciberpunk influyó en la expresión visual, que a su vez ha repercutido mucho en la estética y las ideas de la ciencia ficción, de lo que se suele llamar cibercultura en general.

Algunas de estas ideas ayudaron a ponerle una cara concreta a la Realidad Virtual. De hecho, esto es lo que sucede en el caso de la mítica serie de televisión *Star*

Trek (1979)⁶⁴, *La próxima generación*. De ella se extrajo el concepto “*Holodeck*”, o la producción de la película *Tron* (1982), en la que Kevin Flynn es un joven programador que se encuentra atrapado en el ciberespacio e intenta ayudar a su *software* para que gane la batalla a la inteligencia artificial que ha ocupado la red de ordenadores.

Los “90 en general fueron una década muy fructífera para el cine de estética ciberpunk y la ciencia ficción. Además, el desarrollo de las tecnologías gráficas y virtuales impulsó a la creación de cortometrajes y largometrajes de acción, de animación o video-clips, pero también de videojuegos y juegos de rol.

Fueron muy importantes las sátiras de animación japonesa, consideradas un clásico de ciberpunk por sus referencias tan influyentes como la representación de ciborgs y el descontrol tecnológico. Un ejemplo son las series de anime *Ghost in the Shell* (Shirow, 1989) o *Akira*⁶⁵ (Otomo, 1982).

Hay que destacar que el ciberpunk, movimiento de naturaleza contracultural y *underground*, no es ni homogéneo en sus contenidos ni unificado en su estética. Puede considerarse su época clásica desde su nacimiento en la década de los 80 hasta 1991. A partir de este momento, diversas modalidades de dicha corriente surcaron el panorama. Así, el *Steampunk*, el *Biopunk* o el *Stitchpunk* constituyen, entre otras, diferentes formas de acercarse al temor producido por el poder de lo tecnológico.

En su última etapa, el ciberpunk en particular se aleja de sus inicios en los que se consideraba el sistema como un lugar siniestro y opaco. Este distanciamiento se produce cuando se empieza a jugar con el modelo, el código, o la propia virtualidad

64. Del que fue responsable de los efectos especiales Douglas Trumbull.

65. Es un manga en el que también se basa la película homónima de animación japonesa. Ambas obras tuvieron un reconocimiento instantáneo como clásicos del ciberpunk. El manga, de más de dos mil páginas, fue escrito y dibujado por Katsuhiro Otomo entre los años 1982 y 1993, obteniendo un éxito significativo en Japón y en el resto del mundo. Premiada con el Premio Kōdansha al mejor manga en 1984 en la categoría general.

del sistema. Obras como la película *The Matrix* (hermanos Wachowski, 1999), nos demuestran que la ciencia ficción ya no responde a lo imaginario si no a lo real en términos de utopía, de objeto perdido. “*Frente a las máquinas, los seres humanos no somos más que un virus, aquello que amenaza la aséptica transparencia de las redes*” dicen en Matrix. Es en este punto donde lo real ha desaparecido definitivamente. La película versa sobre el lado catastrófico del impacto tecnológico, la humanidad en su intento por crear máquinas útiles para su beneficio, nos convierte en “conductores de energía”, pasando al otro lado del espejo; es decir, el ser humano será para la máquina lo que esta fue para él: un simple instrumento.

En las dos últimas décadas, en el *Post-Ciberpunk* se han incorporado nuevas temáticas acorde con los avances científicos y tecnológicos (como elementos de la trama) y cuyas obras tratan la dinámica de un mundo polarizado que intenta romper el *statu quo* del dominador, o al menos proteger a éste de la creciente decadencia. Estas obras se caracterizan por tener personajes que actúan para mejorar las condiciones sociales. El término *Post-Ciberpunk* se usó en 1991 describiendo la edición de bolsillo de la novela de Neal Stephenson *Snow Crash*. Sin embargo, no fue hasta el año 1998, con la publicación del ensayo *Notes Towards A Postcyberpunk Manifesto* de Lawrence Person, cuando se empezó a considerar un subgénero del ciberpunk.

Tras todo este género de visiones, los teóricos de la hipermedia acogieron con entusiasmo esta atrevida visión, e incluso los científicos la convirtieron en su objetivo, con el pretexto de que con ello, encontraríamos la clave para aumentar nuestras capacidades mentales.

Sin embargo, estas promesas de la tecnología ultradesarrollada se quedaron en expectativas. La holografía se ha empleado como elemento de la trama en la ciencia ficción en muchas ocasiones. Ahora bien, los conceptos empleados no correspondían con las verdaderas capacidades técnicas de la tecnología. Lo podemos comprobar en la *Guerra de las galaxias* (1977), donde la emplean para comunicarse de forma remota o, en concreto en el episodio el *Despertar de la Fuerza*, donde aparece un

ajedrez holográfico. En la película de *Regreso al futuro II* (1989) aparece en forma de anuncio, presentada como una gigante proyección en la que se publicitaba la ficticia película Tiburón, o incluso en la Trilogía “*Los Juegos del Hambre*” de Suzanne Collins, en concreto en Sinsajo.

En la obra se hace uso del “*holo*”. Se trata de un dispositivo que puede llegar a mostrar un mapa del Capitolio, además de servir como localizador del lugar en el que podrían estar algunas de las vainas que se ocultan en las calles.

Este dispositivo tiene la capacidad de hacer zoom en las calles e incluso puede encontrar rutas subterráneas con la finalidad de apreciar las vainas más cercanas. Ahora bien, el dispositivo solo puede ser activado por la voz de un comandante específico. Una vez encendido, responde a las otras voces de la escuadra para que alguien más pueda hacerse cargo si el comandante es asesinado.

Otra de las potencialidades del “*holo*” es la explotación a la que se vería expuesto en el caso de que alguien perteneciente a la escuadra dijera tres veces la palabra “Jaula”. Este hecho provocaría, al mismo tiempo, la detonación en un radio de cinco yardas.

Resulta oportuno señalar que el “*holo*” solo aparece en Sinsajo. Boggs es la única persona conocida poseedora de uno. Después de que Boggs accionara la vaina que voló sus piernas, transfirió el mando del Holo a Katniss Everdeen.

También la holografía ha aparecido en múltiples series de televisión, como la canadiense *Stargate Atlantis* (1997-2007), en la que varios personajes aparecen como hologramas en varios episodios, y la británica comedia *Red Dwarf* (1988-2012), en la que aparece un holograma del compañero muerto de David Lister. O la conocida serie *Bones*, donde una artista forense llamada Ángela emplea un ordenador cuántico, con el que puede reconstruir gráficos tridimensionales en el aire gracias a una lluvia de partículas. En realidad, esta tecnología ya está siendo desarrollada por la empresa Google en colaboración con la Nasa (2015) y es conocido con el nombre de máquina

de *Turing cuántica*⁶⁶.

El escritor estadounidense Jaron Lanier (1960)⁶⁷ fue quien fundó la primera compañía, conocida como *Visual Programming Language (VPL Research, INC.)*. Esta compañía vendió las primeras patentes de gafas y guantes de Realidad Virtual a mediados de los años 80. Al respecto, Lanier indica:

La RV es compartida y está presente objetivamente como el mundo físico, se compone como una obra de arte y es ilimitada e inofensiva como un sueño. Cuando se disponga de una RV amplia, a finales de siglo, no se la verá como un medio usado en la realidad física, sino más bien como una realidad adicional. La RV inaugura un nuevo continente de ideas y posibilidades. En Texpo'89 pisamos tierra en este continente por primera vez." VPL Research, INC. Virtual Reality at Texpo 89, 1989 (Steve Ditlea False Starts Aside, Virtual Reality Finds New Roles. publicado por la revista The New York Times, el 23 de Marzo de 1998)

En el mismo artículo, Lanier afirma más tarde: *"Creo que tengo parte de culpa por pretender que la RV recabara tanta atención pública. Siempre he hablado de las aplicaciones extremas de la Realidad Virtual, y como no se han llevado a cabo, el interés ha decaído."*

El auge de la investigación RV de la década de 1990 fue acompañado por el libro de no ficción de Realidad Virtual (1991) de Howard Rheingold. El libro sirvió para desmitificar el tema, por lo que es más accesible a los investigadores menos técnicos y aficionados.

En la actualidad, se ha abrazado la RV para introducirla en nuestra vida cotidiana, como ya lo hizo el móvil inteligente, y lo cierto es que las características de estos

66. Las ideas esenciales de la computación cuántica surgieron de la mente de Paul Benioff que trabajaba en el Argonne National Laboratory en Illinois (EE. UU.). Teorizó un ordenador tradicional (máquina de Turing) operando con algunos principios de la mecánica cuántica.

67. El Libro *Realidad Virtual* publicado por Howard Rheingold, Capítulo 7: *El nacimiento del negocio de la Realidad Virtual*. Página 165, habla detenidamente sobre la trayectoria de Jaron Lanier.

simuladores electrónicos han variado ligeramente a sus precedentes⁶⁸. La mayoría de todas ellas han sido presentadas en forma de gafas o de casco, cuya capacidad mecánica y control electrónico han mejorado gracias a las últimas aportaciones.

Aunque el medio digital se muestra muy fructífero en nuestra época y el público se encuentra totalmente atraído por él, confluyen muchos debates alrededor de su hipotética evolución, aplicaciones y usos.

En la actualidad, vivimos en un mundo condicionado por el imaginario, en el que nos empeñamos en que la virtualidad debe confundirse con la realidad. Este hecho ya se había evidenciado en otros contextos históricos. Primero nos eclipsan la innovación, como si se tratara de una renovada cosmovisión mágica. Sin embargo, esta fascinación tiene un tiempo limitado, el público enseguida se cansa y después de un tiempo dejamos de ser conscientes de su presencia.

Esta coyuntura ha configurado un “sentido común” en la ideología cultural, en la que la tecnología se encuentra atrapada en las velocidades del tiempo por la acelerada sobreexcitación, tal y como mencionó el teórico francés Paul Virilio en los años 80 con la introducción a la *“era del colonialismo desde el hogar”*.

En esta línea, Paul Virilio (1932-) alude al paso de las “Pequeñas Tecnologías”, basadas en una perspectiva geométrica y ajustadas a la visión humana. Esto es así porque toda descripción de fenómenos está sujeta a la subjetividad según Virilio. Incluso cualquier forma subjetiva quedaría implícita en la realidad contextual antropocéntrica en la que ha sido diseñada. A través de las citadas Pequeñas Tecnologías se han manejado las nociones de lo cerca/lejos, aquí/allá, alto/bajo, lo público/privado, a las Grandes Tecnologías, caracterizadas *“por la transmisión en tiempo real de información y que tendrán un doble efecto: las nociones tradicionales para ordenar el tiempo y el*

68. Consultar “Análisis de métodos de visionado tridimensional” en la pag. 131

espacio se disuelven, y la velocidad será el nuevo eje para organizar la nueva experiencia social. El tiempo emergente es el de la aceleración". Virilio, Paul (1997: 15)

Así pues, la mayor contribución de Virilio ha sido a los estudios sobre la posición del cuerpo, la tecnología, la política y la ciencia.

2.6 Los mundos inmersivos del hombre: el sueño tangible

La virtualidad ha acompañado siempre al ser humano, y se diferenció de la realidad física desde que construyó cosas materiales con una finalidad práctica.

La Literatura, las Artes y otras formas de comunicación son mundos virtuales que han sido interiorizados o representados en mundos paralelos, más bien con un carácter simbólico, donde se expresa esa estructura formal de la realidad ideal; por consiguiente, el hombre con el deseo de expresar simbólicamente, emplea la imagen para manifestarla, un elemento esencial donde varía su configuración y significación.

Calificar algo como virtual implica señalar su carencia de realidad, su eminente caracterizarse por no ser algo, por ser inexistente. Lo virtual es, por lo tanto, lo no real. El mundo virtual es un espacio de no-mundos, de pura ficción, de irrealidad.

Podemos percibir como real lo irreal, su ilusión de realidad.

Lo que contiene esta ilusión de este mundo real, es una representación de un universo meramente artístico. Filosóficamente, nos encontramos ante una obra que está en toda su plenitud en la mente del artista, pero no existe, es pura virtualidad.

En toda obra lo que contiene es un espacio virtual. En la música y literatura se crea una dimensión temporal paralela y que le es propia como si de un tiempo virtual se tratara. Sin embargo la aplicación de la tecnología nos sitúa frente a lo visible, haciendo realidad esos sueños. El arquitecto Michael Benedikt dio una definición sobre el ciberespacio, en la que expuso lo siguiente:

La inmaterialidad y la maleabilidad de los contenidos inherentes al ciberespacio proporcionan el más tentador de los escenarios para la representación de realidades míticas que hasta hace poco estaban confinadas a los rituales relacionados con las drogas, al teatro, a la pintura, a los libros y al tipo de medios que por sí mismos son siempre menos que aquello con lo que nos ponen en contacto, es decir, meros pórticos. Podemos considerar el ciberespacio como una extensión – de nuestra antiquísima capacidad de habitar ficciones. (Michael Benedikt, 1993. pp.13-14)

Como Benedikt hay muchos escritores y expertos que comparan “la noción de vivir experiencias bajo diferentes avatares”, con el pasaje de estimular “la imaginación con fármacos”. Esto es así porque las percepciones de la imaginación alteran las emociones y las ideas e intensifican la percepción sensorial en un intervalo de tiempo. Por ello, las tecnologías tridimensionales nos atraen y seducen, porque nos demuestra que puede darnos el sentido del vértigo y la emoción del abismo. Un fenómeno que inspira muchas de las metáforas poéticas inmersivas.

Esto nos recuerda que la lectura puede ser una concepción de la experiencia inmersiva, aunque hay cierta discrepancia sobre este tema, puesto que por naturaleza todos los textos tienen un dominio semántico, un conjunto de significados no enumerables, de límites borrosos y a veces caóticos, proyectados por cualquier secuencia dada de signos. En cambio, para que tenga lugar la inmersión, el texto tiene que ofrecernos un espacio en el que podamos sumergirnos. Según Marie-Laure Ryan, el concepto de mundo contiene: *un conjunto conectado de objetos e individuos, un entorno habitable, una tonalidad razonablemente inteligible para los observadores externos y un campo de actividad para sus miembros*. Por tanto, la idea de mundo textual significa que el lector construya en su imaginación un conjunto de objetos independientes del lenguaje. Es decir, el mundo imaginario del lector no sólo se construye a través de los textos proporcionados, sino que al ser complementados con ciertas propiedades como los modelos cognitivos, las experiencias vitales y los conocimientos culturales, el mundo o la imagen es mucho más vívida.

La idea de construir un mundo aparte, dotado de perfecta realidad, responde a la necesidad del hombre por escapar del momento presente y de evadirse a otra dimensión del tiempo, donde puede manejar o manipular todo aquello que le rodea de manera artificial. No deja de ser un sueño que consiste en poseer la perfección y sumergirse en ella.

Ante esta necesidad del hombre hay referencias escritas desde la imaginación, como *La máquina del tiempo* (en inglés *The Time Machine*), publicada en 1895. Se trata de una novela de ficción del escritor británico Herbert George Wells (1866-1946)⁶⁹. La novela versa sobre las aventuras de un científico del siglo XIX que trata de crear la máquina del tiempo. Cuando esta se pone a prueba con la intención de conocer el futuro de la humanidad se transportó al año 802.701. El viajero materializa su sueño, desafiando las leyes newtonianas, en el que él mismo dice lo siguiente: “*Nuestras existencias mentales, que son inmateriales y que carecen de dimensiones, pasan a lo largo de la dimensión del tiempo con una velocidad uniforme, desde la cuna hasta la tumba.*” (p.3)

Además, la propia cultura cada día nos coloca ante nuevos mundos a los que debemos enfrentarnos. Un claro ejemplo es el hipertexto que nos permite la consulta remota y la generación de historias en el ciberespacio⁷⁰.

Al proporcionar mayor libertad al usuario en la interactividad de este mundo, este reacciona según el aumento de ruido cibernético y codifica su propio universo, mostrando imágenes que no responden a lo que está sucediendo en la realidad física. Por medio de este entorno cibernético existe una nueva dimensión en el que se ha empleado el juego, la animación y la exhibición dinámica como expresión. Nos acercamos a lo corpóreo, ya no se trata de un mundo ilusorio, sentimos que el

69. Es uno de los considerados como padres de la ciencia ficción y, con su mezcla de aventuras y doctrina social y política, alcanzó un notable éxito.

70. Consultar en el capítulo “*Los efectos de la transformación de la tecnología sobre la sociedad. Un nuevo modelo social*”, pag. 55

mundo posible o soñado está cada vez más cerca.

Los teóricos de la hipermedia fueron los responsables de establecer los medios visuales para crear diálogos entre el hombre y la máquina, determinándola como una necesidad complementaria. El hecho de que el hombre se muestra cada vez más impasible a los estímulos sensoriales hace que surja esta necesidad. Por este motivo, la forma y el desarrollo de los nuevos soportes tecnológicos obedecen a los placeres cognitivos, estimulándose un fuerte deseo por hacer que los mundos sean más tangibles.

En este sentido, uno de estos deseos responde a la evolución de la holografía híbrida, que desde hace tiempo forma parte del imaginario popular. Sin embargo, al no cumplir con las expectativas fue relegada al olvido ante la insatisfacción de los resultados que obtuvo de ella la comunidad científica.

A pesar de esto, la inagotable mente humana no descansa, y seguirá proyectando nuevas ideas para encontrar la fórmula de la tridimensionalidad en el aire, siendo la literatura y la ficción su campo de reflexión.

Capítulo 3

Investigación y desarrollo de las tecnologías tridimensionales

3.2. De la holografía analógica a la holografía digital

3.2.0 Planteamiento a modo de introducción

Este capítulo abordará los principales indicadores del fenómeno holográfico, entre los que puede destacarse aspectos fundamentales de la óptica moderna, todos ellos consecuencia de la reconstrucción de imágenes en 3D.

El método holográfico es un sistema de representación que requiere en todo momento de la intensidad, la amplitud y la longitud de onda, así como de la luz que refleja un objeto.

Por otro lado, en el capítulo titulado “*Funcionamiento de la holografía analógica*” se procede a la descripción de los procesos holográficos de *interferencia destructiva*, *interferencia constructiva* o *interferencia intermedia* en la que se lleva a cabo una combinación de las dos anteriores.

El seguimiento de los pasos y medidas de los procesos ópticos citados resulta fundamental para la comprensión de las distintas técnicas holográficas, ya sea mediante la transmisión con láser, la transmisión de luz blanca, o la reflexión de luz blanca. De la misma manera, se concederá especial importancia a los hologramas programados por ordenador.

Por su parte, en la sección “*Montaje de estudio holográfico óptico*” se resalta como aspecto crucial en la confección de un holograma, el entorno microscópicamente estable que se requiere para efectuar dicho proceso y conseguir resultados positivos.

Además, se describe los elementos necesarios para el registro de un holograma, sin olvidar que estos deben estar alineados: dos espejos pequeños, un espejo esférico, una lámina semitransparente, dos microscopios, el láser, el obturador colocado delante del láser, los diafragmas que cumplen la función de alineadores, la placa holográfica, el polarizador que minimiza la intensidad de los haces de luz y los “Pin-

holes” junto con las bases imantadas.

Sin embargo, como se podrá apreciar a lo largo de este epígrafe no es suficiente con la disposición de los elementos citados, sino que además, será necesario un adecuado análisis y un minucioso examen de la técnica del montaje, teniendo en cuenta que el haz objeto solo debe iluminar al objeto; mientras el haz de referencia solo debe verter su iluminación sobre la placa.

De igual forma, también es decisivo para la consecución adecuada de la técnica holográfica que se está describiendo un adecuado manejo del obturador, así como una correcta disposición de los materiales de registro.

Es sumamente importante para la reflexión sobre la evolución de la holografía, la perspectiva diacrónica que se le concede al epígrafe en el primer *holograma de transmisión* creado por Gabor (1900-1979), quien recibe en 1971 *el premio Nobel de Física*. En la misma línea cronológica, se alude también a Emmett Leith (1956) quien encontró un método para mostrar gráficamente la forma de onda del radar, a través de técnicas ópticas.

Al mismo tiempo, para comprender la situación de los hologramas generados por ordenador (método conocido como *holografía digital*) y el proceso de reconstrucción numérica en la que se basa, se exponen los estudios recogidos por Calvo Padilla, M.L. y otros investigadores que han tenido un gran acercamiento a esta materia.

También, se reflexionará sobre las técnicas holográficas renovadas mediante la aplicación de las nuevas tecnologías. Entran aquí en escena los sensores CCD o CMOS, el modulador espacial de luz SLM-LC y el almacenamiento de la información de un objeto 3D en forma de matriz real, todo ello con la ausencia de lentes analógicas para evitar todo tipo de aberración.

Asimismo, también se analizan en este epígrafe una síntesis sobre las aplicaciones de la holografía analógica que sigilosamente han invadido nuestras vidas, como son los sistemas de almacenamiento, e incluso los sistema de seguridad, que podemos ver en tarjetas de crédito, pasaportes, códigos de barras o billetes.

Durante las últimas décadas del siglo XX, se experimentaron diversas aplicaciones para diferentes campos de la ciencia, como la microscopía electrónica, la interferometría o la acústica. De hecho, la holografía física salió de los laboratorios como técnica fotográfica compleja en tres dimensiones.

Por último, se analizan los dispositivos de proyección con visualización volumétrica en su capacidad de generar hologramas a gran velocidad.

Antes de finalizar el epígrafe se procede a una descripción de las líneas de investigación que se están abriendo en la actualidad, y los objetivos que se pretenden alcanzar con las mismas, y que a su vez, tienen en cuenta siempre los fines comerciales, obviamente.

Finalmente, después de ingerir cada estudio de los diferentes procesos holográficos, se comprenderán los factores que han influido en la evolución holográfica, que en parte, esta progresión, ha sido determinada por los principios filosóficos que acarrearán las tecnologías modernas (abaratamiento de los costes para que se expandan de forma globalizada, las comunicaciones instantáneas, etc), estas han hecho que la situación entre el público y la ciencia holográfica sea distante.

Sin embargo, en la actualidad, la holografía física es una tecnología que no ha prosperado en el medio artístico, aunque como medio científico tiene un papel de gran vigor. En los últimos años se han ampliado diversas líneas de investigación como: el almacenamiento y procesado óptico de la información, el diseño y la fabricación de elementos ópticos holográficos, la optimización de materiales de registro holográfico, la conservación del patrimonio histórico, etc.

3.2.1 La holografía analógica: definición y fundamentos

James P. Waters (1974: 5) explica que el término *Holograma* procede de dos vocablos de origen griego: *Holo*, (procedente del latín), significa “todo” o “entero” y *Grama*, procedente de la palabra griega “*gramma*”, que significa letra, escritura o gráfico.

Carl C. Aleksoff, Byron B. Brenden, Gordon M. Brown, H.Dale Collins, A.E. Ennos, Robert K. Erf, Ronald M. Gagosz, Leonard A. Kersch, Winston E. Kock, Emanuel Marom, Karl A. Stetson, Jerry R. Varner, Charles M. Vest, James P. Waters. *Holographic Nondestructive Testing*. (Editado por Robert K. Erf) Universidad de Michigan: Academic Press, INC., 1974.

La holografía se convirtió en una de las ramas más importantes de la óptica moderna. De ella cabe decir que utilizada como reconstrucción de imágenes en 3D, proporciona uno de los resultados más espectaculares de la historia. Se puede señalar que, a diferencia de otros sistemas de representación, la imagen holográfica es una imagen real, puesto que puede reproducir toda la información de un objeto.

A su vez, un holograma contiene datos referidos a la *intensidad*, la *amplitud*, la *longitud de onda* y la fase de la luz reflejada por un objeto.

El Dr. Beléndez Vázquez, A. detalló en la lección inaugural “Holografía: ciencia, arte y tecnología” (2007) el funcionamiento específico de un holograma:

Para que se produzca el registro, la luz proveniente del láser, pasa a través de un obturador y se divide en dos haces perpendiculares entre sí mediante un divisor de haz, el haz de referencia y el haz objeto, en ambas trayectorias se sitúan sendos espejos con la finalidad de dirigir los dos haces para que interfieran sobre la placa holográfica. El haz de referencia es expandido mediante un filtro espacial e ilumina toda la superficie de la placa holográfica. El haz objeto se expande de la misma manera e incide sobre el objeto, de modo que la luz reflejada llega a la placa. De este modo en la placa holográfica se registra la interferencia de ambos haces.

Su patrón se registra en un material fotosensible parecido a una película fotográfica. Éste contiene información codificada tanto de la amplitud como de la fase de la onda objeto. Para decodificar la información almacenada en el holograma y reconstruir de este modo una réplica de la onda objeto original, en la etapa de reconstrucción se ilumina el holograma con una onda análoga a la onda de referencia utilizada en la etapa de registro.

Esta onda es difractada por la compleja estructura de franjas almacenada en el holograma, generándose una onda objeto original. De esta forma, si se mira a través del holograma se verá una imagen tridimensional del objeto, aún cuando éste ya no se encuentre allí, pues se dispone de su onda y es ésta la que alcanza nuestros ojos. Este frente de onda imagen reconstruido es prácticamente indistinguible de la onda original procedente del objeto, y puede producir todos los efectos visuales del haz primitivo. (Beléndez, A. 2007).

En esta línea, indica García Robles (2008:1-10):

La redundancia es una de las propiedades más interesantes de los hologramas. Consiste en el hecho de que cada fragmento del holograma contiene la información de toda la imagen.

De esta forma si tenemos dos placas, una grande y otra más pequeña, para holografar el mismo objeto, en ambas quedará grabado el patrón de interferencias de la escena completa. Sin embargo, en la placa mayor, tanto la imagen virtual como la real del objeto se verán desde un ángulo más amplio de visión que en la placa de menor tamaño.

Otro de los elementos fundamentales a tener en cuenta son:

- **Coherencia de la luz.** El *manual Holografía* (1985:29) perteneciente al *Centro de Holografía de Alicante* (Caja de Ahorros Provincial de Alicante) explica lo siguiente con respecto a la coherencia de la luz:

“La coherencia de la luz es una medida de su capacidad para producir interferencias. Hay dos tipos de coherencia: temporal y espacial. La luz que no posee ambas no puede producir interferencias visibles”.

Con anterioridad, a la exposición sobre la coherencia de la luz, el citado manual también nos detalla la diferencia entre la luz polarizada y la no polarizada:

La luz polarizada no es visiblemente distinta de la no polarizada, pero sí se comporta de forma diferente. Cuando la luz no polarizada se encuentra en una superficie de vidrio, parte del haz es transmitido y parte reflejado, resultando ambas porciones polarizadas parcialmente. (p.24)

En este sentido, es importante resaltar que en holografía la mayor parte de los objetos despolarizan la luz. Así pues, en la producción de interferencias solo es efectiva una parte de la luz difundida por los objetos.

De hecho, como se explica en Holografía, la calidad de la imagen y la coherencia de luz están estrechamente relacionadas:

Para valorar la calidad de la imagen debemos fijarnos en su luminosidad y fidelidad respecto al objeto. La aparición de distorsiones y de luz de fondo sobre la imagen, así como la falta de uniformidad en la superficie del holograma, restan calidad a la imagen. (p. 59)

- **Coherencia espacial.** El manual *Holografía* (1985) define este tipo de coherencia con las siguientes palabras:

La coherencia espacial es en cierto modo una medida del tamaño del foco luminoso. La coherencia espacial es máxima si el foco luminoso es puntual o puede mediante lentes o espejos reducirse a un punto, condición que se cumple casi perfectamente en un láser. En el caso de la bombilla, aún cuando la luz tuviera una coherencia temporal aceptable, no conseguiríamos tener sobre la pantalla franjas de interferencia porque los diferentes puntos luminosos del filamento emitirían ondas que darían lugar a sistemas de interferencia separados espacialmente sobre la pantalla con lo que el ojo integraría el resultado en una iluminación blanca uniforme. (p. 30)

- **Coherencia temporal.** Se trata de una coherencia que guarda relación con la monocromaticidad. Así pues, en el citado manual también se hace referencia a este tipo de coherencia.

Una onda monocromática emitida por un láser se puede dividir en dos partes mediante una lámina semitransparente. Si a continuación ambas partes se superponen podemos producir interferencias visibles en una pantalla aunque la longitud del camino recorrido por cada una de ellas hasta alcanzar la pantalla no sea el mismo. (p. 29)

Por tanto, se convierte en elemento indispensable en cualquier dispositivo holográfico que se precie un haz de luz intenso con un alto nivel de coherencia tanto espacial como temporal.

Ahora bien, como se indica en el citado manual el haz cumple una importante función para evitar las distorsiones de la imagen:

Las distorsiones de la imagen aparecen si el haz de reconstrucción no es igual al haz que sirvió como haz de referencia en la obtención del holograma, o si se reconstruye con luz monocromática de distinta frecuencia. El tamaño de la imagen y el color cambian y las distorsiones de la imagen pueden llegar a ser considerables al variar la divergencia del haz. (p. 60)

- **Correspondencia entre los puntos del objeto y el holograma:** óptica geométrica de los hologramas.

Como se explica en *Holografía* (1985:69), en el caso del *Holograma de Arco Iris*, también conocido como *Holograma de Benton*, se emplea el método de producir hologramas de luz blanca, utilizando interferencia en dos dimensiones, de tal manera que los hologramas aparecen en colores diferentes en función del ángulo de observación. Al minimizar la cantidad de información sobre el holograma, se excluye el paralaje vertical. Esto es posible puesto que las personas al tener los ojos en posición horizontal, disminuye la sensibilidad al paralaje vertical.

El holograma recibe su nombre del científico americano S. Benton:

S. Benton ideó en 1969 una técnica en la que un holograma de transmisión puede verse con luz blanca sin necesidad de ningún filtro de banda estrecha ni externo ni incorporado; para conseguirlo se sacrifica el paralaje vertical manteniendo el horizontal. La pérdida del paralaje vertical no tiene mucha importancia ya que el observador mueve

normalmente la cabeza en dirección horizontal y no en vertical. (p.68)

En cualquier caso, como se detalla en *Holografía* (1985) en la imagen holográfica o virtual “la luz no pasa a través del lugar del espacio donde se encuentra la imagen, aunque parece como si se originara en él” (p.57)

Aún con todo, como se expone en *Holografía* (1985), pueden surgir inconvenientes en la realización de un holograma relacionado con el movimiento de algún elemento óptico del dispositivo. Sin embargo, en el citado manual se aporta la solución a dicho problema: “A menos que usemos un láser pulsante tendremos que asegurar un perfecto aislamiento de todos los componentes”. (p.46)

En definitiva, la calidad de la imagen dependerá de distintos factores y elementos como son: la coherencia de la luz, la coherencia espacial, la coherencia temporal, la correspondencia entre los puntos del objeto y el holograma, así como de la potencia del láser, la sensibilidad de la placa fotográfica y del propio objeto.

3.2.2 Funcionamiento de la holografía analógica

El proceso holográfico depende de la capacidad de dos ondas de luz, procedentes de las distintas partes del objeto y del haz de referencia. Se denominan *interferencia destructiva*, para anularse entre sí, o *interferencia constructiva*, para añadirse entre sí. También pueden ser *intermedias*. El papel de estas ondas de luz es muy importante, ya que la combinación de ambas produce la trama sobre la emulsión.

La luz reflejada registra los patrones de interferencia sobre una placa fotosensible. Una vez expuesta, la placa es revelada y fijada en soluciones químicas para hacer permanente la información registrada.

Durante la segunda etapa, la placa debe estar en la misma posición.

Se expone el holograma con un haz luminoso conocido como interferencia

constructiva, similar al haz de referencia utilizado anteriormente durante el registro. De esta forma, éste al difractarse creará una imagen virtual y otra real.

Una vez que se produzca el holograma máster puede hacerse un número ilimitado de copias. En el proceso de estampado, toda la información de la placa máster metálica es transferida a la lámina de plástico.

Un holograma es una compleja figura interferencial generada por dos haces de luz coherentes espacial y temporalmente, uno dirigido a iluminar el objeto (haz objeto) que se pretende holografar y el otro dirigido a la placa holográfica (haz referencia). De este modo lo que se graba en un holograma no es la imagen de un objeto sino la onda objeto misma. (Torralba, N. 1996. p. 30)

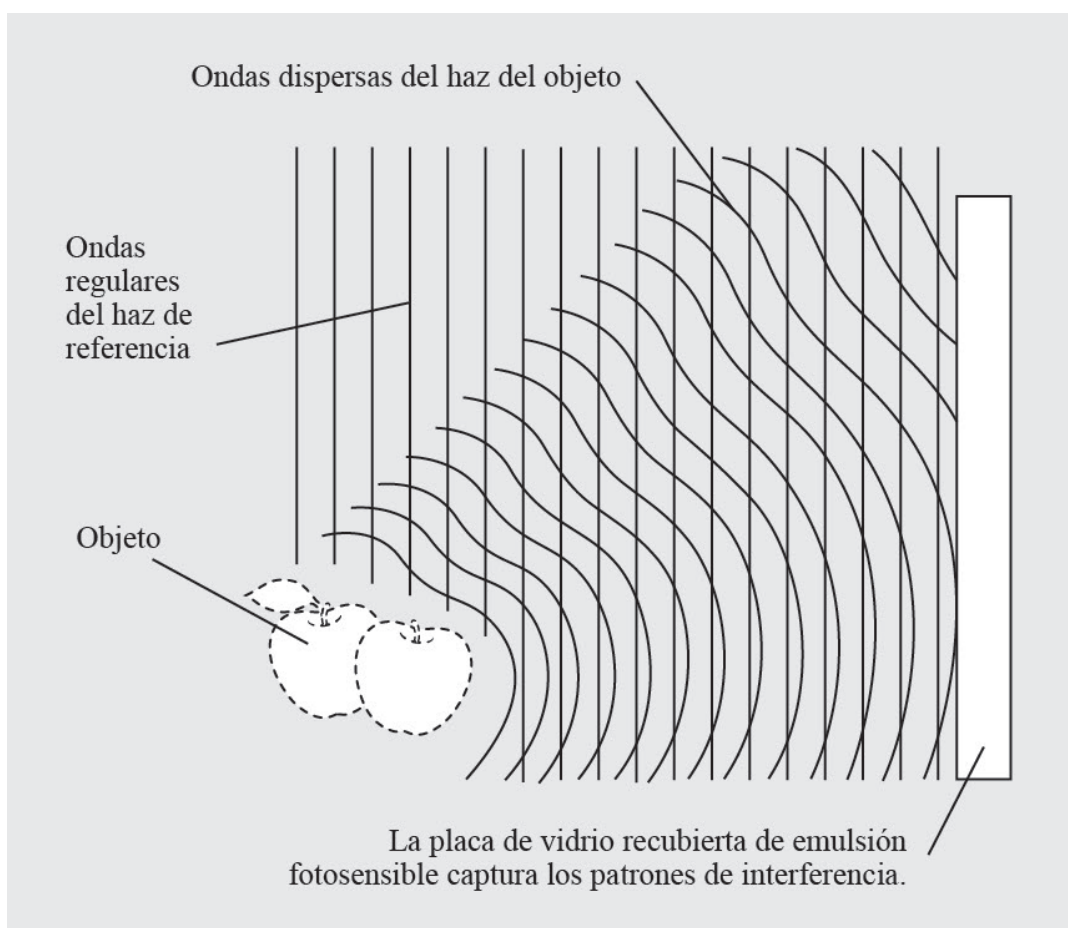


Fig. 43 Los patrones de interferencia.

Se puede considerar, por tanto, que tanto la interferencia como la distracción constituyen los fenómenos físicos que conforman la base de todo proceso holográfico.

Teniendo en cuenta la base de la holografía, se procede pues a la exposición de distintas técnicas recogidas por Richardson (2000) para construir hologramas.

Los **Hologramas de transmisión con láser**, un método utilizado durante los primeros tiempos de la holografía. Se desarrolló a principios de los años sesenta por Emmett Leith y Juri Upatnieks en la Universidad de Michigan.

No se ven actualmente en público debido a la necesidad de disponer de un láser para observarlos, así como por restricciones de seguridad cuando se usan láseres de alta potencia.

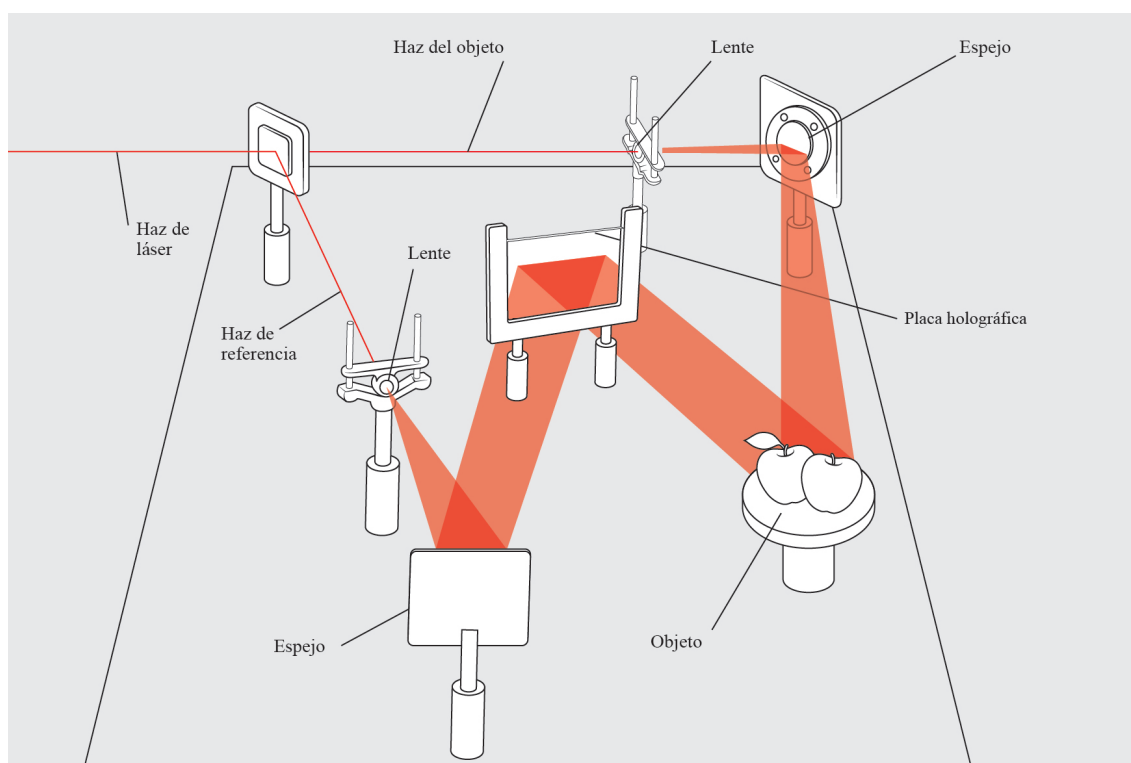


Fig. 44 El camino de la luz en la holografía de transmisión.

Actualmente, la solución que se plantea a estos inconvenientes es la de iluminar los hologramas con luz blanca. Se selecciona esta luz por su menor coste, su seguridad y su fácil manejo.

Los dos tipos principales de hologramas de luz blanca, según la forma en que son observados, son: *los de transmisión de luz blanca* y *los de reflexión de luz blanca*. Ambos requieren luz de láser para realizar su cometido, pero pueden ser observados con luz blanca.

- Los *hologramas de transmisión de luz blanca*, como su nombre indica, hacen posible que los hologramas puedan ser vistos con fuentes luminosas no coherentes (luz blanca, halógena). También se conocen por el nombre de arco iris o de Benton, ya que fue Stephen A. Benton quien realizó el primer holograma con esta técnica en 1969. Como indica Richardson (2000) los hologramas actúan con una red holográfica que descompone la luz en sentido vertical, permitiendo al observador contemplar una imagen de diferente color (del rojo al violeta) para distinta ubicación vertical de la visión.

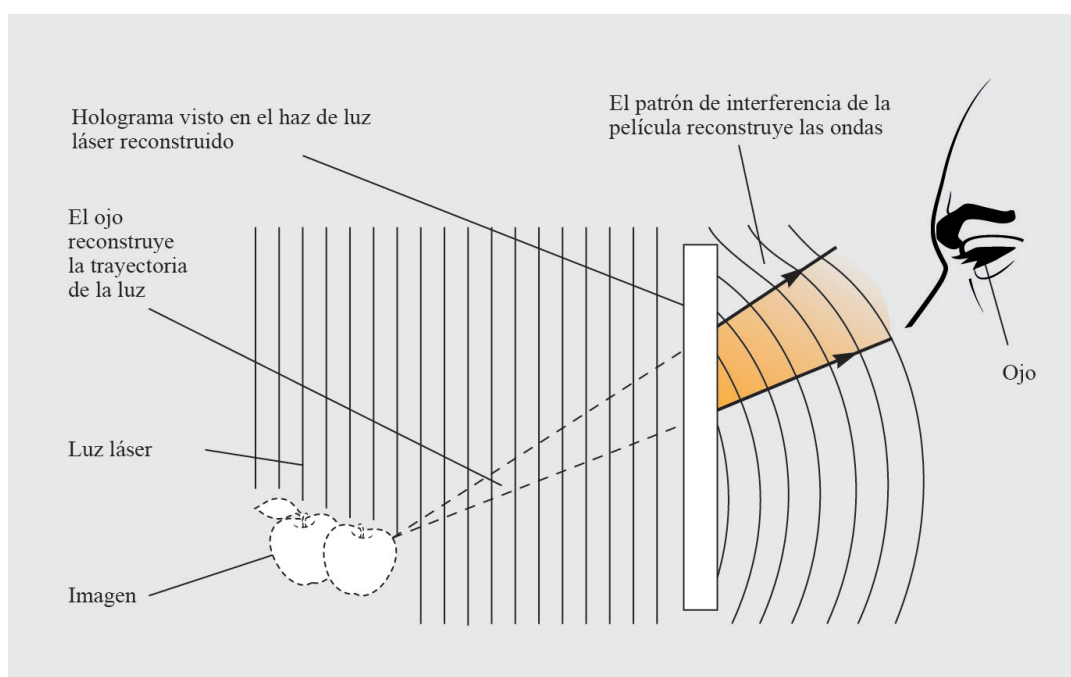


Fig. 45 Cómo se ve un holograma de transmisión de luz blanca.

- Los *hologramas de reflexión de luz blanca* se miran dirigiendo la luz blanca contra la superficie de la placa. La imagen es de un solo color uniforme, verde o rojo/naranja. Puede ser colgado en la pared como un cuadro corriente. El tipo de luz blanca para mirar estos hologramas debe ser una fuente puntual, dirigida hacia la placa desde arriba en un ángulo aproximado de 45 grados. Si se dirigen dos lámparas, se recrearán dos imágenes. Una hilera de luces fluorescentes producirá una imagen borrosa, empañada. Si la lámpara es deslustrada, la imagen también aparecerá deslustrada. Cuando se exhiben hologramas también hay que tener en cuenta la luz ambiental. El tipo de luz utilizado es extremadamente importante.

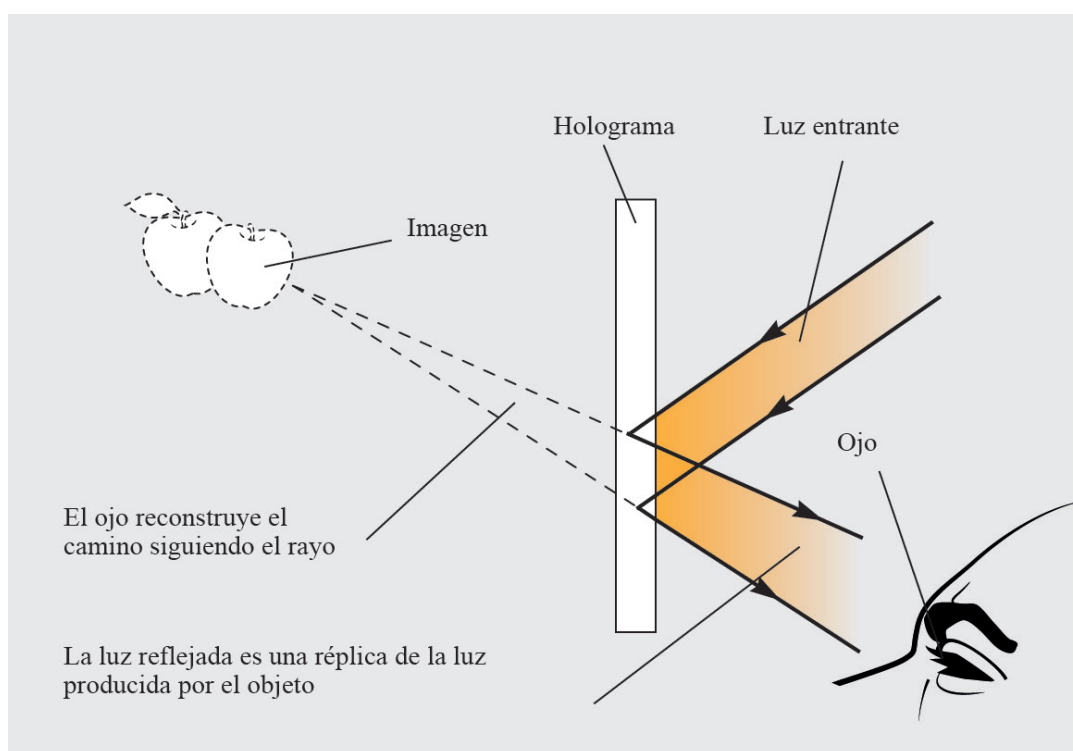


Fig. 46 Cómo se ve un holograma de reflexión.

También es posible la *holografía de color total*, si bien no es frecuente ver estos hologramas en público por su complejidad y peligro. Una manera de realizarlo es hacer tres exposiciones sobre una placa única con emulsión tricolor empleando luz láser roja, verde y azul. Lamentablemente, la placa terminada debe ser iluminada con luz de láser roja, verde y azul.

El color de un holograma no tiene nada que ver con el color del objeto utilizado durante el registro. La imagen se verá con los colores del arco iris, o bien de un solo color general. Los hologramas son capaces de almacenar una increíble cantidad de información. Por esa razón, el poder resolutivo de la emulsión holográfica debe ser alto. Pueden almacenar hasta 10^{13} bits de información por centímetro cuadrado. Semejante densidad no es posible en otros sistemas.

- Actualmente también se pueden producir hologramas sintéticos. Pueden generarse imágenes tridimensionales a partir de información bidimensional. Los resultados no son hologramas verdaderos de los objetos, sino simulaciones empleadas como sistemas de exhibición.
- Existe otra nueva tecnología, los denominados hologramas hendidos. El principio básico de estos hologramas consiste en tomar varias imágenes fotográficas secuenciales de una escena y almacenarlas, por exposición múltiple, en una placa holográfica. Esto permite que cada uno de los ojos del observador reciba una vista ligeramente distinta. Un sistema práctico para fabricar hologramas hendidos emplea una cámara de cine para registrar numerosas vistas diferentes de unos objetos al girar este delante de la cámara. Una vez procesada, esta película se coloca en una impresora óptica holográfica, la cual convierte, secuencialmente, cada cuadro de película en un holograma hendido. Los hologramas hendidos son expuestos uno junto al otro sobre la placa holográfica. El holograma máster resultante, que podría tener hasta más de 1000 hologramas hendidos, puede ser copiado para su observación con luz blanca. Al moverse el observador, es decir, al cambiar de paralaje por el frente o alrededor del holograma, los ojos mirarán a través de una hendidura de holograma ligeramente diferente, lo que produce una ilusión de una imagen tridimensional.

Un ordenador también puede estar programado para generar una imagen en perspectiva y rotarlo en 360° .

Los hologramas programados por ordenador se utilizaron por primera vez en 1977.

Una organización farmacéutica usó entonces un holograma generado por ordenador de una nueva molécula de antibióticos. Ahora es posible producir imágenes tridimensionales generadas por ordenador de extrema sofisticación visual.

3.2.3 Montaje de estudio holográfico óptico

La confección de un holograma requiere un entorno microscópicamente estable. Si se mueve cualquier cosa o se crean interferencias entre los haces de luz durante la exposición, no se producirá el registro o la imagen se presentará incompleta.

Con lo cual cada elemento óptico debe estar fijado firmemente. Para reducir la posibilidad de movimiento, debe instalarse una mesa que pesa varias toneladas.

El Dr. francés Maurice Francon (1913-1996), del *Instituto de Óptica* de París de la Universidad de la *Sorbonne*, presenta en su libro *Holographie* los principios de la holografía: las interferencias y la difracción, el filtraje óptico, y el reconocimiento de ondas.

El objeto y el holograma se iluminan en el momento del registro. Si este sufre una deformación, cesa la coincidencia, lo que origina una modificación de la diferencia de marcha y provoca la aparición de franjas de interferencia características de la deformación. (Francon, M.; 1972, P.73)

Aunque esto depende del tipo de láser empleado. Con *láseres CW de baja potencia* (10 mW) y placas de 100 cm², el tiempo de exposición es de 1s. Durante ese tiempo las franjas no deben moverse más allá de 1/4 de franja, es decir que todos los objetos deben tener una estabilidad superior a 1/2

Con lo cual se requiere: una mesa estable aislada mecánicamente del suelo, una temperatura estable con mínimas corrientes de aire.

Los *Hologramas con láser de alta potencia*, como el de Rubí, requiere el mismo montaje pero permite grabar con pulsos de pocos nanosegundos.

La estabilidad no es un problema, pero el coste es alto y requiere de ciertos cuidados de seguridad.



Fig. 47 Maurice Francon (1913-1996).

Para registrar un holograma, son necesarios varios elementos:

- Se usan *dos espejos pequeños* de primera superficie, para reunir los haces y que interfieran. El plateado de cada espejo se deposita en la superficie, para que los haces no se refracten al atravesar el vidrio. Estos se encuentran montados sobre una base imantada y cuentan con unos tornillos de ajuste para poder regular el movimiento en posición vertical y horizontal.
- Un *espejo esférico* de gran diámetro. Tendrá una posición fija y debe tener una distancia focal de 101,7 cm.
- *Lámina semitransparente* divisora del haz incidente. Selecciona la intensidad de la luz transmitida y reflejada.
- *Dos Microscopios*. Ayudan a que los finos haces de láser diverjan, y deben emplearse dos lentes idénticas. Las lentes no deben desfazar los dos grupos de luz.
- El *láser*, aparato que produce una luz colimada, monocromática (63nm) y con una alta coherencia.
- Delante del laser se coloca un *obturador*, que se abre y se cierra automáticamente para dejar que el láser ilumine o no.
- *Diafragmas*, que sirven para alinear el sistema. Constan de un agujero cuyo tamaño se puede graduar y se colocan sobre una base inmantada.
- La *placa holográfica*, es una lámina transparente fotosensible. Se coloca sobre una base.
- A veces es necesario un *Polarizador* para resta la intensidad de los haces de luz.

- *Plinto pesado, soporte o base.* El objeto se sitúa en una base que sirve para evitar las vibraciones. La mayoría de los hologramas exige un tiempo de exposición bastante largo, por lo que es esencial que el objeto se mantenga inmóvil.

El microscopio abre el haz de referencia, que va hacia el espejo esférico, debiendo colocarse en la focal de este. Así el haz saldrá hacia la placa como si procediera del infinito. Con el diafragma comprobamos que los objetos están alineados, colocando el diafragma entre dos objetos consecutivos; el haz debe pasar por el agujero con un tamaño de un par de milímetros.

Hay que conseguir que todos los elementos que están colocados se encuentren perfectamente alineados. Los haces deben seguir el camino correcto, para lo que se mide la distancia de cada uno de los haces (luz de coherencia del láser). Si la diferencia de caminos supera los dos o tres centímetros, movemos los espejos o la placa, o bien el objeto.

Hay que limpiar los haces. La suciedad en las lentes de los microscopios, en la lámina separadora o en los espejos, mancha los haces. Para limpiar colocamos el pin-hole en el soporte del microscopio, justo delante.

El agujero debe coincidir con la focal de la lente del microscopio, lo que conseguiremos con un procedimiento concreto. Normalmente este es muy lento, y se tiene que llevar a cabo con paciencia:

Se coloca una pantalla delante del microscopio y se acerca el microscopio, haciendo uso del tornillo situado en el soporte.

A la vez que acercamos en la pantalla debemos de ir centrando el punto de luz que nos encontramos, usando los tornillos que mueven el “pin hole”. Repetir el proceso (acercando un poco el microscopio, y colocando el pin-hole), hasta encontrar una gran luz roja limpia en la pantalla.

Medir la cantidad de luz que llega procedente del haz objeto y procedente del haz de referencia. La relación entre haces debe ser de 1 a 4 aproximadamente, siendo el de referencia el de mayor intensidad.

Encendemos el fotómetro y usando el detector medimos la intensidad. La pantalla del detector nos muestra el resultado en nanovatios, pero como tiene un factor multiplicativo de 1000, obtendremos la lectura en microvatios.

Para la intensidad de *haz objeto* colocamos el detector perpendicular y haremos un barrido por todo el lugar que debe ocupar la placa, para obtener una media aproximada de la intensidad que llega.

Para el *haz de referencia* colocamos girado el detector de manera que los rayos incidan con la máxima intensidad sobre el detector. Buscamos el valor máximo y lo multiplicamos por el coseno de 45 (aprox.0.7) para obtener el valor que realmente entra en la placa. Estas son las dos cantidades que deben estar en la relación 1:4. Por supuesto cuando hagamos la medida del haz objeto debemos tapar el de referencia y viceversa.

Si no se obtiene esta relación, se puede actuar de varias maneras para conseguirlo:

- Podemos acercar o colocar el objeto de alguna forma que refleje más la luz. Girando la lámina separadora logramos aumentar o disminuir las intensidades de los haces.
- Otro modo es acercar el microscopio objeto a éste, de manera que le llegue mayor cantidad de luz.
- En último caso colocaríamos un polarizador en el haz de referencia, por ejemplo. Girando el polarizador cambiaríamos la intensidad del haz, con cuidado de no colocarlo de manera que no pase nada de luz.

Ahora hay que medir la cantidad de luz que llega de los dos haces juntos colocando el detector perpendicular al objeto. Hacemos un barrido y obtenemos un valor medio aproximado. Sabiendo que la sensibilidad de la placa es de $1600 \mu\text{J}/\text{cm}^2$, y nuestra medida de intensidad, que está en $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, el tiempo de exposición lo obtenemos dividiendo 1600 entre nuestra intensidad.

Analizar y examinar bien el montaje para evitarnos luces molestas que puedan llegar a la placa, o malas iluminaciones. Debemos mirar bien los haces de manera que:

- El haz objeto ilumine únicamente al objeto. No debe iluminar directamente la placa.
- El haz de referencia al revés, debe iluminar únicamente la placa, en ningún caso debe llegarle luz del haz al objeto.
- El haz de referencia no debe iluminar el borde de la placa, ya que se produciría una reflexión múltiple en el interior de la placa. Recordemos que esta tiene grosor.
- Eliminar luces que puedan llegar a la placa desde cualquier otro lugar del montaje.

Para evitar los cuatro puntos anteriores se pueden emplear pantallas, que colocadas estratégicamente, pueden producir el efecto deseado.

Una última luz que podría molestar es la del soporte del objeto, pero se puede colocar una tela oscura encima para evitar esta molestia.

Ya estamos en condiciones de realizar el holograma, solo nos queda comprobar que las bases imantadas están en la posición ON. Un último vistazo para comprobar todo y abordamos el último paso.

Manejaremos el obturador. Este aparato consta de un reloj, que medirá el tiempo de exposición. También cuenta el obturador con un disparador, cuyo funcionamiento es el siguiente: al ser pulsado, el obturador cuenta diez segundos, abriéndose y dejando paso a la luz del láser. Al final del tiempo marcado el dispositivo se cerrará.

A continuación se realiza todo el proceso completamente a oscuras.

Primero se extrae la placa de una caja negra para colocarla posteriormente en su soporte. Se esperará durante 3 minutos a que la mesa se estabilice, y pasado este tiempo se contará un minuto mentalmente; cuando éste expire se pulsará el disparador. Una vez terminado el tiempo de exposición, el obturador se cerrará, se recoge la placa, se introduce en la caja y se vuelve a encender la luz.

Materiales de registro:

- **Hojas o Placas de haluro de plata**, normalmente en rollos de 35mm de hasta 50x75cm. El más común en la UE es Agfa Gevaert llamado *Holotest*.
- **Placas termoplásticos**, al calentar el plástico se reblandece, pero al enfriarse se queda rígido. Son placas pequeñas de 30x30, reutilizables. Son menos sensibles que los haluros y no requieren de un procesamiento químico húmedo.
- **Gelatinas dicromadas**. Son emulsiones de dicromato potásico en gelatinas. Con la exposición a la luz y el revelado químico se forman enlaces entre las moléculas de gelatina que dan lugar a cambios de índice de refracción. Son de baja sensibilidad y se necesita grabar con alta intensidad. Normalmente se usan para hologramas de volumen.
- **Fotopolímeros**. Son cadenas poliméricas sintéticas que sustituyen a la gelatina natural.

- **Fotorresina seguida de ataque químico.** Usada generalmente para fotolitografía. Tras la exposición y el revelado químico se disuelven las partes no expuestas a la luz. De esta manera se obtiene un “holograma delgado binario de fase”. Es un método usado para hacer lentes holográficas y para estampado de hologramas. Permiten la producción de hologramas en serie. Son lo que se emplea en los billetes y en las tarjetas de crédito. Se usan como elementos de seguridad porque son complicados de copiar, pero también son de baja calidad y con un efecto 3D limitado. No son útiles como dispositivos ópticos, sino para holografía de uso general.
- **Cristales fotorrefractivos.** Son medios de volumen que permiten alojar muchos hologramas compartiendo el mismo volumen, por selectividad Bragg, con diversas técnicas de multiplexado. No necesitan revelado para reconstruir el holograma.

El revelado. Con la placa en la caja solo queda revelarla. El proceso es muy parecido al de las fotografías convencionales.

En este proceso pasaremos la placa por cuatro baños:

1. **Revelador.** Se utiliza poca cantidad. Lo que hace es revelar la placa.
2. **Baño de paro.** Se utiliza agua para parar la reacción provocada por el revelador.
3. **Baño de fijado y blanqueo.** El fijado elimina los halogenuros de plata que quedan sin impresionar, para evitar que al ser expuestos a la luz se impresionen. El blanqueo pasa el diagrama interferométrico a distintos índices de refracción. Tenemos la misma información, pero con índices.
4. **Baño de aclarado.** Se limpia bien con agua de grifo durante un buen rato.
5. **Finalmente se deja la placa secar y ya podemos ver el holograma,** que por ser

plano en nuestro caso tendremos que reconstruirlo utilizando la luz de la fase de construcción. En nuestro caso láser rojo de 633 nm. Contaremos con una imagen virtual y otra real.

3.2.4 Historia de la Holografía

En 1947 el científico húngaro Dennis Gabor (1900-1979) investigaba sobre una técnica que pudiera aumentar la resolución de las imágenes producidas por los microscopios electrónicos. Para ello, tenía que corregir las aberraciones esféricas que producían las lentes magnéticas, limitadas por una resolución de 10 nanómetros.

Mientras trabajaba como ingeniero investigador en la compañía eléctrica Rugby, de la British Thomson-Houston, descubrió el método definitivo, conocido como *reconstrucción del frente de onda*, utilizando un proceso en dos fases y un soporte fotográfico.

Había concedido la idea de usar luz coherente, y describió cómo era posible reproducir un objeto en tres dimensiones.

El *primer holograma de transmisión* producido por Gabor lo llevó a cabo utilizando como foco luminoso una lámpara de vapor de mercurio filtrada.

Permite obtener la imagen de un objeto a partir de una figura de difracción producida por el objeto. Las operaciones se realizaban en dos tiempos:

- Se fotografía una figura de difracción de Fresnel producida por el objeto y se añade a la figura de difracción un fondo coherente. Este es el holograma. El holograma no se parece al objeto, pero contiene toda la información necesaria, amplitud y fase, para reconstruir el objeto.
- Se ilumina el holograma con un haz paralelo y monocromático. Como consecuencia de las variaciones de densidad de la placa que ha registrado el holograma, se produce difracción. Este fenómeno de difracción permite obtener la imagen del objeto.

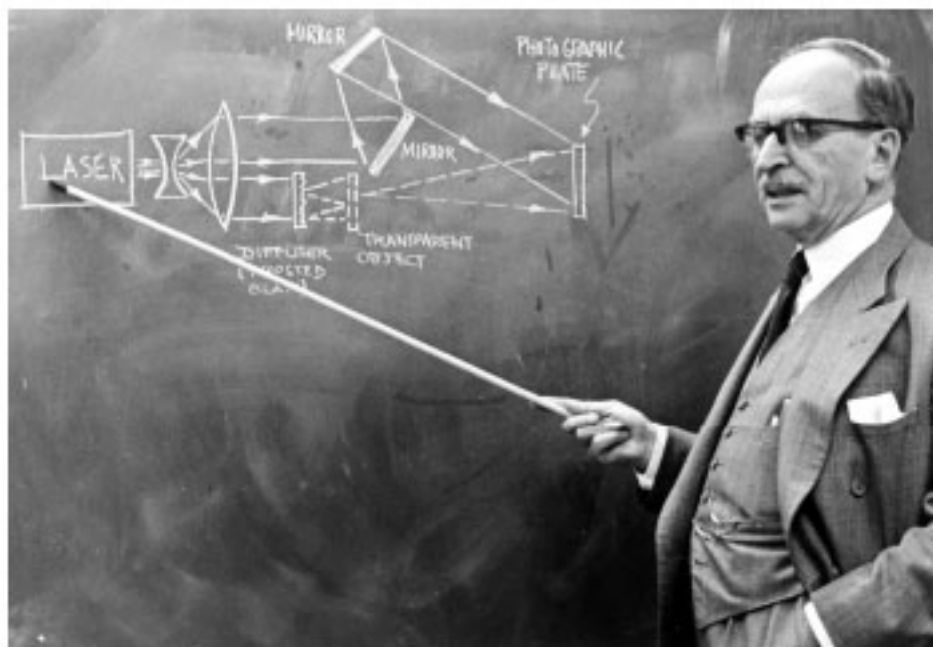


Fig. 48 Dennis Gabor explicando la formación de un holograma (1971).
Fuente: aip.org (AIP American Institute of Physics)

Starting from the realization that a light wave can be “frozen” into a photographic plate simply by the superposition of a “background” or “reference” wave, coherent with the first. When the processed plate is illuminated by the reference wave alone, the frozen wave will be revived; it will reappear as a component of the light wave transmitted and diffracted by the photograph, called a “hologram”. (Gabor D. and Stroke G.W.1969. Pp.275-289)

El sistema en dos fases desarrollado por Gabor está basado en la naturaleza ondulatoria de la luz y en los fenómenos de difracción e interferencia. La idea fundamental de esta técnica es que se pueda registrar y reconstruir un frente de ondas procedente del objeto original utilizando un haz de referencia para su codificación y posterior decodificación.

Posteriormente, esta técnica holográfica se ha denominado Holograma de Fresnel o in-line. Emplea un sistema de registro que sitúa en el mismo eje el objeto original y la emulsión, registrando de este modo la interferencia de ambos frentes de onda, a través de un divisor de haces y un sistema de espejos. Es decir, el patrón de interferencia se forma sobre la emulsión como resultado de la interacción de ondas del objeto y el de referencia desde el mismo eje de procedencia (con un ángulo no mayor de 90 grados).

Los resultados de sus experimentos fueron publicados por primera vez en mayo de 1948, en el artículo Un nuevo principio microscopio de la revista Nature. Donde da a conocer el nombre de “holograma” como un nuevo tipo de registro fotográfico y explica su porqué. Gabor D. y Stroke G.W. (1969:40-7) lo explican con las siguientes palabras:

The intention was to obtain better micrographs in two stages. In the first stage a hologram was taken by the interference of the electron waves diffracted by the object with a coherent background; the illumination electron wave itself. The term hologram means a complete picture, (from the Greek “*holos*”, the whole) because it contains information on both amplitudes and phases.

La intención era obtener mejores micrografías en dos etapas. En la primera etapa un holograma fue captado por la interferencia de las ondas de electrones difractados por el objeto con un fondo coherente; la propia onda de iluminación del electrón. El

término holograma significa una imagen completa, (del griego “holos”, el todo), ya que contiene información sobre ambas amplitudes y fases.

Este descubrimiento despertó un escaso interés por ser un concepto difícilmente entendido. Recibió duras críticas por sus contemporáneos, que concretamente reprochaban las limitaciones relativas a su enfoque en la microscopía.

Además, Gabor se enfrentó a la dificultad de las fuentes luminosas que no respondían con las condiciones óptimas. Los problemas de “doble imagen” hacían que esta técnica fuera inservible. Las fuentes luminosas conocidas en esa época no eran muy monocromáticas, y la más potente que existía se basaba en el uso de una lámpara de vapor de mercurio de alta presión que sólo proporcionaba luz coherente a escasos 0,1mm. En sus experimentos, el registro se realizaba en el mismo eje, sin posibilidad de desplazamiento del objeto. Haciendo referencia a este asunto señalaba Johnston, S.F. (2006: 161-188): *“Blamed its lack of technical and commercial success mainly on limitations of the electron source and, later, the inadequate optical coherence of the available light sources”*. *“Se culpa a la falta de éxito técnico y comercial, principalmente en las limitaciones de la fuente de electrones y, después a la inadecuada coherencia óptica de las fuentes de luz disponibles”*.

Sólo con el tiempo demostraría la importancia de este principio, y veintitrés años más tarde, en 1971, le fue concedido el premio *Nobel de física*.

En la década de los cincuenta, algunos científicos en Inglaterra y Estados Unidos continuaron estudiando el principio de la holografía, a pesar de que sus investigaciones estuvieran limitadas por la carencia de una fuente de luz lo suficientemente coherente.

La holografía moderna comienza en 1950, junto con el descubrimiento del láser. Su técnica fue mejorada gracias a Yuri Denisyuk, que estaba investigando en el Vavilov State Optical Institute de Leningrado sobre la aplicación naval de dispositivos ópticos para su postgrado. No conocía en absoluto el trabajo de Dennis Gabor y sólo se inspiró en historias de ciencia ficción.

La fuente que hace posible la holografía es el láser. La palabra láser significa *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (Amplificación de la luz mediante emisión estimulada por radiación). El láser fue posible gracias a la conjunción de la teoría atómica de Niels Böhr y la teoría cuántica de Marx Planck.

En 1958 los científicos Charles H. Townes y Arthur L. Schawlow, publicaron el artículo titulado “*Infrarrojos y Masers Ópticos*”, en el que proponían la posibilidad de conseguir radiaciones de luz coherente a partir de átomos de un vapor de metálicos (masers)

La holografía es un proceso relativamente directo. La luz coherente que procede de un láser se divide en dos rayos. Uno se usa para iluminar un objeto, y la parte del rayo que es reflejada por el objeto incide en una placa fotográfica. El otro rayo se dirige directamente a la placa por medio de un espejo. La luz procedente del espejo, llamado rayo de referencia, se combina en la placa con la luz reflejada por el objeto para formar una imagen compleja de interferencias. (Norman, L. 1976. pp 56-69)

Centrado también en el estudio de la óptica holográfica Justo, O. (1992) señalaba lo siguiente:

La holografía es una técnica fotográfica especial que permite recoger sobre una placa toda la información óptica de un objeto, necesaria para reproducir posteriormente una imagen tridimensional de él. (...) En holografía lo que queda registrado es la placa (o película) es la huella producida por el fenómeno de interferencias que tiene lugar al incidir sobre ella dos ondas luminosas que proceden de la misma fuente y una de las cuales ha iluminado previamente el objeto. (p. 5)

El rayo láser es una luz monocromática con frentes de ondas planas e interrumpidas. Fue construido por Theodore H. Maiman en los laboratorios de la Hughes Aircraft Company Research en 1960. La comercialización del rayo láser permitió grandes avances en la teoría y práctica de la técnica holográfica.

En 1956 Emmett Leith,⁷¹ físico de la Universidad de Michigan, trabajaba en un programa de radar militar secreto, que se llevaba a cabo en los *Willow Ruby Laboratories*. Buscaba un método para registrar y mostrar gráficamente la forma de onda de las señales de radar, usando técnicas ópticas. La similitud de ambos procesos, le llevó a la conclusión de emplear los métodos de radiotecnica.

Años más tarde, descubrió los trabajos realizados por Gabor y sus sucesores, dándose así cuenta que habían redescubierto la holografía.

Desde entonces, el objetivo de su trabajo fue perfeccionar su método.

La clave de la optimización la encontró en 1962, junto con su compañero Juris Upatnieks (también de la Universidad de Michigan).

Plantearon el sistema láser de transmisión holográfica que permitía eliminar la superposición de las imágenes gemelas, consistente en utilizar un haz de referencia fuera de eje.

El haz de luz que constituye el fondo coherente, al incidir sobre la placa fotográfica, hace posible formar un ángulo grande con el haz difractado por el objeto. Esto evita el que se obtengan dos imágenes que se recubren en el momento de la observación. Y con la intensidad y la longitud de coherencia que ofrece el rayo láser se hace fácil la realización de montaje.

Este método avanzado fue presentado ante la *Optical Society*.

El trabajo de estos científicos revolucionó el mundo virtual y, por fin, tuvo buena aceptación entre la comunidad científica.

71. Emmett Leith, nacido en Detroit en 1927, fallecido en Ann Arbor en 2005. Impartió clases de ingeniería, ingeniería eléctrica y ciencias de la computación en la Universidad de Michigan, y a través de aquella institución fue donde descubrió los principios de la holografía.

La mayoría de sus investigaciones sobre la holografía las efectuó en el Laboratorio de Radar grupo de la Universidad de Michigan, donde trabajaba desde 1953. En 1979, el presidente de EE.UU. Jimmy Carter le galardonó con la "Medalla Nacional de la Ciencia" por toda su investigación.

Se empezó a retomar el interés por la obra del científico Dennis Gabor.

Siendo hasta entonces ésta una tecnología poco desarrollada, comenzaron a realizarse numerosas investigaciones.

En los *laboratorios Bell*, Keith Pennington y Lawrence Lin iniciaron sus estudios a partir del uso de diferentes láseres de color, con experimentos sobre la reflexión-reconstrucción de transparencias bidimensionales.

En 1962, la holografía tuvo un gran avance gracias al científico soviético Yuri Nikolaevich Denisyuk,⁷² del Instituto Estatal de Óptica de la URSS. Inventó una técnica que permitió reconstruir los hologramas con luz blanca visible con reflexión, basada en la teoría del físico francés Gabriel Lippmann sobre la fotografía en color.

George Stroke, profesor de la universidad de Michigan, junto a Dennis Gabor redefinió la teoría matemática de la técnica y fue coautor del propio termino de la holografía.

En 1996, se publica *“An Introduction to Coherent Optics and Holography”* la primera monografía sobre la holografía, en la que se exponían los fundamentos teóricos.

Más tarde, Niles Hartman consiguió patentar *la holografía por reflexión fuera de eje* contribuida por el equipo de Michigan (George Stroke, Antonie Labeyrie en Stonybrook y C. Schwartz).

Se desarrollaron nuevos procedimientos para la grabación de imágenes. Tung H. Jeong, Paul Rudolf y Luckett. Imagen 360° en cilindro iluminado.

En 1964, King y Collier, de los laboratorios Bell propusieron el primer holograma generado por ordenador. Fiódorov, Yaroslavski y Merzliakov.

72. Yury Denisyuk nacido en 1927 en Sochi y fallecido en el año 2006 en San Petersburgo. Miembro de la Academia de las Ciencias de Rusia. Denisyuk dirigió el AF Ioffe Físico-Química del Instituto de San Petersburgo y el SI Vavilov Estado Optical Institute Laboratory. Su primer viaje a Occidente lo llevó a Besançon en 1970. Conoció a Emmett Leith en Novosibirsk en 1973, durante una conferencia de la holografía. Desde los años 80, se mantuvieron en contacto permanente, y permanecieron activos hasta una edad muy avanzada. Denisyuk dio su última conferencia en Varna (Bulgaria) en 2005.

En 1965 surge una de las aplicaciones industriales más importantes de la holografía, la *interferometría holográfica*.

A mediados de los años 60, la holografía está en el punto de mira de las industrias publicitarias, que muestran una postura demasiado optimista con respecto a su desarrollo.

Lawrence Sierbert, de la empresa Conductron Corporation, creó en 1996 el primer holograma de un ser vivo, utilizando el laser pulsante. Rápidamente esta empresa desarrolló el gran formato e intentó técnicas de reproducción masivas.

A partir de 1967 numerosas compañías como IBM, TRW, Bell,...comenzaron a experimentar con sistemas de animación holográfica.

La primera producción masiva fue gracias a McDonell Douglas Corporation, que realizó un holograma de reflexión para el World Book Science.

En 1968 Stephen A. Benton⁷³, científico de Polaroid Corporation, descubrió el primer holograma de transmisión de luz blanca. Llamado Arco Iris, su rasgo más característico es la coloración prismática. Fue el primer holograma que podía ser visto con cualquier fuente de luz blanca, incluso con luz solar. Este descubrimiento constituyó una auténtica revolución en el laboratorio holográfico.

73. Steve Benton, nacido en 1941, fallecido en el año 2003 a la edad de 61 años, fue el inventor del holograma del arco iris. Ha desarrollado docenas de patentes en física y óptica en los laboratorios de Polaroid, antes de convertirse en director del laboratorio del MIT para Estudios Visuales Avanzados. También enseñó artes y ciencias de los medios. Es el iniciador de la adquisición, en 1993, de las colecciones del Museo de Holografía en Nueva York por el MIT. Describía la holografía como una verdadera "encrucijada del arte, de la ciencia y de la tecnología".

3.2.5 La Holografía Digital. Técnicas de simulación

Las técnicas holográficas se renovaron con los métodos de procesamiento digital, siendo válidos los mismos fundamentos físicos que se usaban para las técnicas analógicas.

En línea con lo anterior, Fiódorov B., Tsibulkin (1992:124) señalaba:

Casi inmediatamente después de los primeros trabajos en la holografía óptica, en los años 70, aparecieron trabajos en los cuales se emprendieron intentos de aplicar ordenadores para simular este fenómeno. Al principio eran intentos para repetir en modelos digitales las funciones de los aparatos ópticos, pero después se plantearon las tareas tendientes a visualizar la información, recurriendo a hologramas sintetizados en ordenadores.

La holografía digital tomó una dirección científica conformada en las investigaciones, y se ha considerado como una rama independiente de la holografía física. Más bien, se ocupa de las cuestiones referentes al análisis y síntesis de los campos ondulatorios, así como de la simulación de su interacción aplicando ordenadores. Por tanto, los fines que se persiguen en el procesamiento digital de las señales unidimensionales es de lo más diverso. Esta técnica impulsó un creciente interés para la creación de aplicaciones, sobre todo en procesado de información, reconocimiento de patrones, autenticación de objetos, memorias holográficas, microscopía, interferometría⁷⁴, metrología, etc.

Según Gómez E., Coronado R., Gonzalez J., Valencia M., González J.M., De León E., Otero E., Santamaría M^aJ., en su estudio *Aplicaciones de la holografía digital al análisis de imágenes médicas*, la descripción de los procesos físicos de interferencia, difracción y propagación de los campos electromagnéticos asociados a la generación

74. Se trata de una técnica óptica de ensayo de materiales, que ofrece la ventaja de no ser destructiva. Entre las aplicaciones de esta técnica se encuentran: controlar las tensiones, microdeformaciones y vibraciones, medir pequeñas diferencias de longitud de onda, medir distancias con gran precisión o resolver detalles precisos en los cálculos astronómicos.

y registro de los hologramas mediante sus correspondientes ecuaciones, permitió plantear la resolución numérica de las mismas como un nuevo campo de aplicaciones genéricamente denominado "holografía digital".

Al respecto, señala Tricoles, G. (1987) lo siguiente:

El rápido desarrollo de ordenadores con gran potencia de cálculo y almacenamiento fue decisivo para la simulación holográfica, junto con los avances de los algoritmos, como es el caso de los FFT, en inglés Fast Fourier Transform, que se encuentran en la base del procedimiento de cálculo del holograma. (pp.43-51)

Además, se ha impulsado el desarrollo de los dispositivos opto-electrónicos empleados en el registro de la intensidad del campo óptico (cámaras CCD, CMOS), y su reproducción (moduladores espaciales de luz: SLM) hace posible la implementación numérica de uno de los dos pasos.

Por otro lado, García Robles (2008) hacía referencia a dos grupos que se podrían distinguir dentro de la holografía digital:

Dentro de la holografía digital se encuentran dos grandes grupos: La holografía digital unidimensional o bidimensional y la holografía digital tridimensional o multidimensional. En el primer grupo se comprenden por la simulación basada en elementos ópticos y la estrecha relación que aguarda con la física, como pueden ser los Interferogramas o los hologramas de Fourier (se tratan de radioseñales). Y en el segundo grupo, son los hologramas puntuales mediante planos y las proyecciones de múltiples perspectivas, estos últimos son de gran interés para este estudio. (P.I-29)

Además, García Robles (2008), se centra también en la descripción de los hologramas puntuales mediante objetos:

Los hologramas puntuales mediante objetos, consiste en descomponer el objeto tridimensional en secciones planas paralelas, de forma que se puedan generar los hologramas bidimensionales de dichas secciones empleando los métodos que se van a definir, y luego unir toda esa información de manera que cada sección se reconstruya en el espacio en un plano focal diferente, estando separados todos esos planos focales una distancia igual a la que existía entre cada dos secciones planas del objeto original.

Y las proyecciones de múltiples perspectivas se fundamentan en el mismo principio de los estereogramas hechos físicamente. El proceso consiste en construir múltiples perspectivas bidimensionales del objeto, y transformarlas todas ellas en hologramas digitales que son integrados en un mismo plano, para poder luego materializarlo en un holograma sintetizado.

El procedimiento de los sistemas de proyección tridimensional permiten reemplazar los aspectos mecánicos por otros puramente óptico-digitales y una mayor riqueza en la imagen, debido a que el número de los valores se ha ampliado considerablemente, teniendo en cuenta la interpolación de los efectos interferenciales. (P 1-29).

Por otro lado, es fundamental conocer los hologramas digitales bidimensionales. En esta línea, Calvo Padilla, M.L (2005) hace referencia en su estudio *Holografía: laboratorio virtual* a las principales ventajas en el registro de los hologramas generados por ordenador:

- Los sensores CCD⁷⁵ o CMOS sustituyen el proceso químico de revelado tradicional. Filtran las diferentes intensidades de luz, en lugar de emulsionar haluros de plata, y la aplicación de algoritmos se encarga de almacenar la información y de su posterior reconstrucción en sistemas de visionado.
- No utiliza lentes analógicas, y por tanto no hay aberraciones.
- Gracias al modulador espacial de luz SLM-LC⁷⁶, permite la reconstrucción en tiempo real, así como controlar la amplitud de la luz y su fase en planos diferentes. El desarrollo de estos dispositivos capaces de modular haces ópticos

75. Charge-Coupled Device o CCD, en español dispositivo de carga acoplada. Es un circuito que contiene condensadores enlazados o acoplados. Cada condensador puede transferir su carga eléctrica a uno o varios de los condensadores que estén a su lado en el circuito impreso. Otra alternativa digital, son los dispositivos CMOS, complementary metal oxide semiconductor.

76. Los moduladores espaciales de luz, SLM, son dispositivos capaces de modular la luz que incide en ellos de forma dinámica y en tiempo real. Esta modulación de la luz puede realizarse de forma interactiva ya que el usuario puede controlar la información que es enviada al SLM a través de una computadora o PC.

ha permitido crear hologramas más complejos, pudiéndose llegar a realizar incluso vídeos holográficos.

- Guarda la información de un objeto 3D en forma de una matriz real.

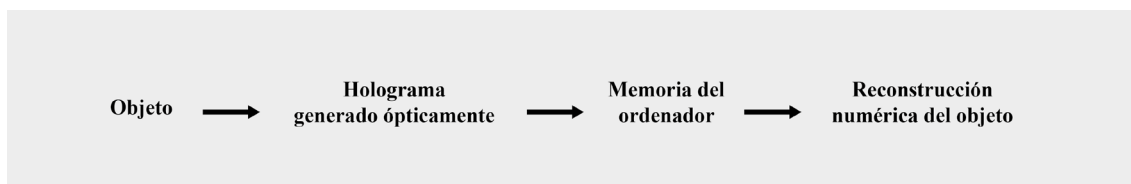


Fig. 49 Reconstrucción digital / Esquema del procedimiento.

Por otro lado, también explica Calvo Padilla, M.L. (2005) el modo en el que se genera un holograma por ordenador:

Los hologramas generados por ordenador son obtenidos a partir de la simulación de la generación óptica del interferograma: patrón de interferencias producido por la superposición del haz objeto y del haz de referencia. Para obtener un holograma generado por ordenador sólo se necesita una representación matemática de la onda objeto y de referencia. El holograma digital puede ser implementado en una película fotográfica, en una litografía o en un Modulador Espacial de Luz (SLM) para ser posteriormente reconstruido ópticamente. Este método permite generar y diseñar frentes de ondas deseados, crear filtros para procesamiento óptico de la información y sistemas de seguridad, visualizar objetos virtuales (generados por ordenador) o bien objetos reales a diferente escala, etc. Calvo Padilla, M.L (2005)

El proceso de generación de un holograma digital se produce en función de los diferentes cálculos de algoritmos que permite la arquitectura de un objeto 3D y del método a formular, ya que existen varios esquemas como el Fourier, el Fraunhofer, y el Fresnel,... que determinan el montaje para realizar hologramas de transmisión y dan lugar a diferentes tipos de hologramas que se pueden clasificar a partir de las diferentes condiciones de difracción.

Para Francisco López⁷⁷ Cantos estos sistemas de sensores cuentan con ciertas

77. Monografía (2013) *La Holografía en el siglo XXI: de las heliocromías a las técnicas digitales. Estado del arte*. Gran Bretaña: Publicia.

limitaciones; afirma que a pesar de simplificar el proceso de registro, los recursos no son del todo óptimos, ya que hay ciertas cualidades que sólo las emulsiones analógicas pueden ofrecer.

Coincidiendo con el argumento de Lopez Cantos, los sistemas digitales, por sus propias características, no alcanzan la misma resolución que la registrada por un patrón de interferencia procedente de dos frentes de ondas.

Para ello se necesitarían sensores de altísima resolución, los cuales no se pueden encontrar con facilidad.

Además con los sensores, al tener un determinado ángulo de captación, la separación angular entre el objeto y el haz de referencia no consiguen la misma volumetría que se podría obtener con el registro realizado con un rayo láser.

En principio para la observación de los hologramas se puede emplear cualquier soporte digital. Sin embargo para tener una experiencia visual similar a la de un holograma analógico, realizada a partir de la reflexión de la luz, se emplean actualmente dispositivos de proyección especial como SML (*Spatial Light Modulator*), DMD (*Digital Micro Devices*), proyectores LCD (*Liquid Crystal Display*), o dispositivos LCOS (*Liquid Crystal on Silicon*).

3.2.6 Aplicaciones de la holografía digital

La holografía ha llegado a ser una de las ramas más importantes de la ciencia, abarcando áreas de investigación muy amplias y a la vez que muy distintas. Muchas de estas aplicaciones no dejan de ser métodos de trabajo introducidos en distintos procesos de trabajo como la microscopía electrónica, los sistemas de almacenamiento, o la interferometría (Beléndez A., Pascual I.: 2007)

Se entiende que el cometido de esta Tesis no es la de abordar las aplicaciones científicas de la holografía. Por tanto, se expondrán una síntesis de aquellas aplicaciones que se encuentran muy presentes en nuestro círculo social, divididas en las siguientes áreas: la información, la seguridad y la medicina.

A. Información

Una de las aplicaciones con mayor aceptación de la holografía es la memoria holográfica o soporte de almacenamiento de información, que ha permitido sustituir otros medios de almacenamiento.

Una placa holográfica que difracta un haz de luz de una forma determinada puede ser usada como *sistema de almacenamiento* si se le da un valor numérico a cada posición.

En los últimos años el volumen de información generado por nuestra sociedad ha crecido espectacularmente. En particular, el acceso a nuevas tecnologías tales como internet o el impresionante desarrollo tecnológico en el mercado del entretenimiento, prevé que el ritmo de generación y almacenamiento de datos se incremente exponencialmente. En la actualidad, los dispositivos de almacenamiento de información más utilizados son los discos magnéticos, ópticos y magneto-ópticos. Estos medios se denominan medios de registro bi-dimensionales o 2D porque los datos se graban sobre su superficie (o hasta en 4 capas en el caso de algunos DVDs).

Estos dispositivos se basan en bits individuales que son almacenados magnéticamente o a través de cambios ópticos en la superficie del soporte de grabación. La memoria holográfica supera estas limitaciones grabando la información a lo largo de todo el soporte, y es capaz de almacenar múltiples imágenes en la misma zona usando luz y ángulos diferentes. (IBM journal of research and development. 2000: 341-368)

Adicionalmente, mientras que los soportes que almacenan datos ópticos y magnéticos graban un bit de información en una vez de forma lineal, los holográficos son capaces de grabar y leer millones de bits en paralelo, lo que permite tasas de transferencia de datos superiores a los alcanzados a través de medios ópticos de almacenamiento. La memoria holográfica captura la información usando un patrón de interferencia óptica con un denso material óptico fotosensitivo (cristales fotorrefractivos o fotopolímeros

orgánicos). La luz de un sólo láser se divide en dos haces de luz, uno de referencia y otro de señal; para su almacenamiento se usa un modulador de luz espacial codificando la señal de los datos. A causa del cruce entre ambos haces, se forma un patrón de interferencia óptica, generando un cambio químico o físico en el soporte fotosensitivo; los datos obtenidos son representados en un patrón óptico de píxeles oscuros y luminosos. Ajustando el ángulo del haz de referencia, longitud de ondas, o posición media, una multitud de hologramas (teóricamente, varios miles) pueden ser almacenados en un único soporte. Las limitaciones teóricas de la densidad de almacenamiento en este medio son aproximadamente de decenas de Terabits⁷⁸. (Ken Anderson, Edeline Fotheringham, Adrian Hill, Bradley Sissom, and Kevin Curtis. 2015: pp 1-3)

B. Seguridad

La tecnología óptica tiene un gran potencial a la hora de afrontar tareas como la encriptación. La dificultad de crear una placa holográfica la hace perfecta en los sistemas de seguridad al ser prácticamente infalsificable.

La necesidad de proteger la información contra el uso de personas no autorizadas y de crear documentos (pasaportes, cheques bancarios, etc.) difíciles de falsificar existe desde hace siglos. Actualmente, debido al enorme volumen de información y de documentación las técnicas de seguridad juegan un papel relevante. El desarrollo tecnológico por un lado propone nuevos métodos de protección de la documentación, pero por otro lado también facilita enormemente su falsificación.

Un holograma, es prácticamente imposible de duplicar, lo que lo convierte en un dispositivo de alta seguridad. Sólo con medios técnicos complejos y sofisticados es posible producir en serie copias de un holograma maestro. Por eso se emplean los hologramas como elemento de seguridad en tarjetas de crédito, billetes de banco,

78. 1 Tb = 1024 Gigabits/Gb, 1024 Megabits/Mb = 1 Gigabyte/GB por centímetro cúbico. En 2006, InPhase anunció una capacidad de almacenamiento de alrededor de 500 Gb/in².

documentos de identidad o productos de alta gama entre otros documentos de carácter privado o identificativo.

Todos los billetes llevan insertado un motivo holográfico⁷⁹. La información almacenada dentro de una imagen holográfica a color se logró llevar a cabo en Canadá en 2008, en el laboratorio UHR.

La memoria holográfica puede proporcionar a las empresas un potente método para archivar información en formatos no regrabables o de una sola escritura, impidiendo así que la información sea sobrescrita o borrada. Los fabricantes creen que dicha tecnología puede proporcionar un almacenamiento de datos seguros durante 50 años, por encima de muchos soportes actuales. Por el contrario, la tecnología de los lectores de datos evoluciona rápidamente, pudiendo alargar la duración del soporte 50 años más.

Muchas de estas aplicaciones se las debemos al científico Gene Dolgoff (1950-), uno de los principales precursores de la holografía digital. Dolgoff cuenta con más de 65 patentes publicadas, muchas de ellas con una estrecha relación con la holografía. Fundó en 1964 el primer laboratorio de holografía en la ciudad de Nueva York, y gracias a las enseñanzas tomadas de Emmett Leith sobre los principios de la física se convirtió en uno de los pocos hológrafos que existían.

En 1971, inventó la impresión de transferencia holográfica, utilizada principalmente para imprimir hologramas en tarjetas de crédito:

"I invented the process for transfer printing holograms (any type) on any surface. It is used on payment cards and in many other places." (En twitter: @FutureGene, 20 de Agosto de 2014)

"Inventé el proceso de hologramas de impresión por transferencia (de cualquier tipo) en cualquier superficie. Se utiliza en las tarjetas de pago y en muchos otros lugares." (En twitter: @FutureGene, 20 de Agosto de 2014)

79. En la banda holográfica, que incorporan los billetes pequeños, la imagen que representa el holograma va cambiando entre las cifras del valor del billete y el símbolo del euro "€". En los bordes, en letra pequeña se indica el valor del billete.

En 1981-1983, trabajó con los mejores investigadores y científicos entre ellos el Dr. Dennis Gabor para desarrollar la imagen de resonancia magnética holográfica, después de desarrollar los rayos X 3D, CAT-scan, y la ecografía.

C. Medicina

En el mundo de la medicina estas tecnologías se usan para el estudio de distintas partes del cuerpo. Al obtener una réplica virtual perfecta se puede tener una fácil observación.

Las aplicaciones biomédicas abarcan una de las áreas más activas de la investigación holográfica, basada en técnicas más avanzadas como la holografía digital y la resolución numérica de las ecuaciones de difracción en los regímenes de Fresnel y Fraunhofer. Están, en fase de desarrollo, siendo aplicadas al análisis de imágenes de ecografía y tomografía.

La *holografía de rayos X*⁸⁰ es un método eficaz para la observación en tiempo real de especímenes biológicos vivos. Para alcanzar la mejor resolución posible, normalmente se aplica el esquema de holograma de Fourier donde una placa zonal de Fresnel se emplea en lugar de una lente difractiva. También es conocida la *holografía endoscópica*, una herramienta muy potente para la obtención de una imagen 3D de cavidades corporales tales como los tractos gastrointestinal o ginecológico.

Los métodos interferométricos (también conocida como interferometría holográfica o IH), son científicamente de gran interés, permiten obtener información tanto cualitativa como cuantitativa a gran escala de desplazamientos y deformaciones de objetos difusores sobre un medio fotosensible. También se han adaptado para analizar tejidos humanos. En analogía con el método empleado en ecografía ultrasónica es posible utilizar la radiación infrarroja para el estudio de tejidos biológicos. Para

80. El investigador de holografía, Prakash Mehta, autor del libro de 1993, "Láseres y la holografía," cree que los hologramas de luz van a reemplazar el uso de la radiación causada por los rayos X como el medio de energía para los escaneos internos.

determinar la profundidad (coordenada longitudinal) de cada punto del tejido cuya imagen se desea analizar, se aplican los métodos interferométricos.

El procedimiento de la interferometría clásica consiste en la composición de dos o mas ondas, de las cuales una de ellas está reconstruida holográficamente. Este conjunto de franjas de interferencia puede ser visualizado sobre el registro de una película fotográfica o bien sobre una pantalla. (Múnera Ortiz, Natalia. 2013: p.1)

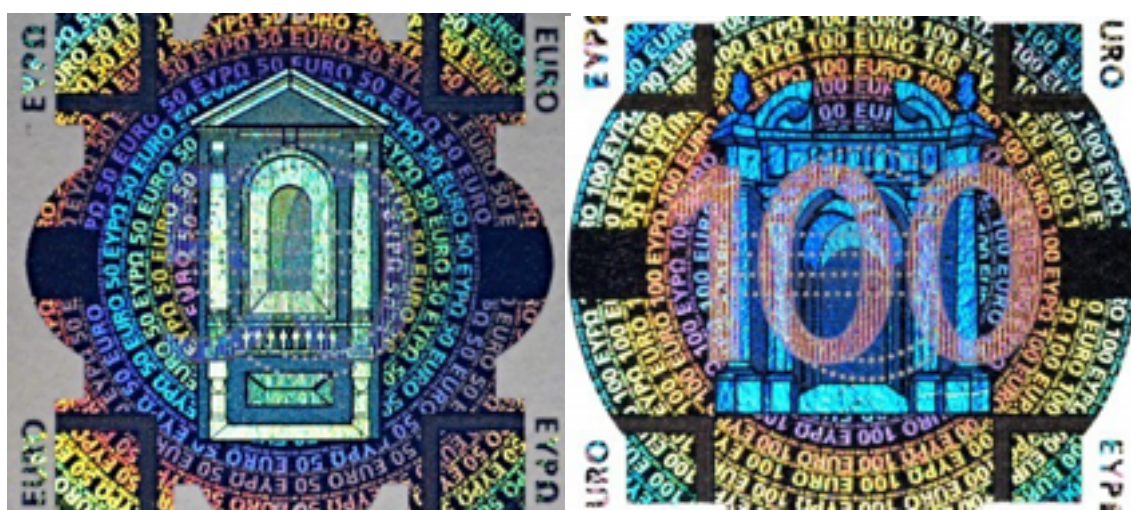


Fig. 50 Los billetes de la Unión Europea (1996) tienen una banda holográfica a la derecha, donde aparece grabada su denominación. Este proceso de elaboración es conocida como técnica de estampado, en inglés *embossed hologram*.

3.2.7 Sobre los dispositivos de proyección con visualización volumétrica en movimiento.

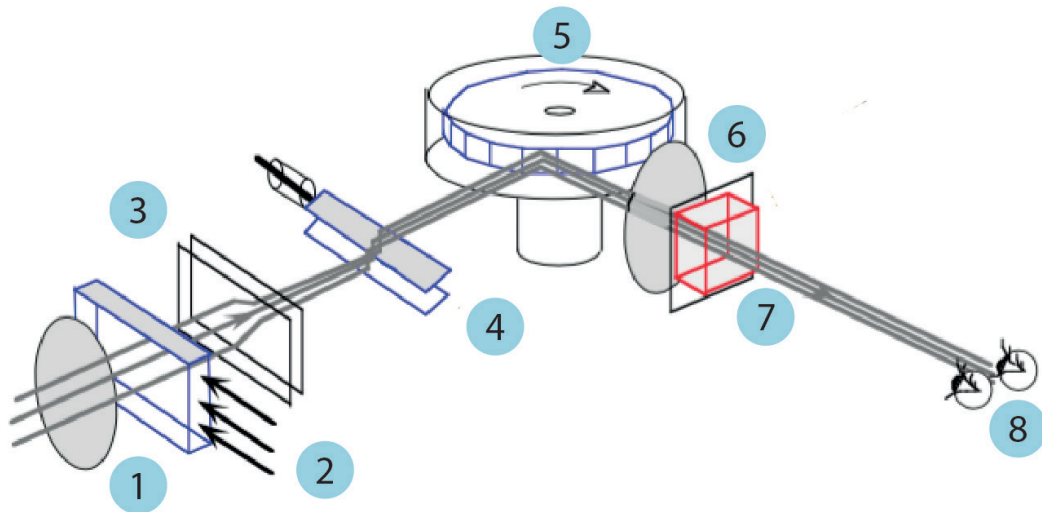
En el presente apartado se procede a un estudio sobre los principales rasgos que caracterizan a los dispositivos de proyección de imágenes 3D dinámicas.

La tecnología de proyección 3D en movimiento es aquella capaz de mostrar imágenes en tres dimensiones por medio de componentes mecánicos que se desplazan a grandes velocidades. Este movimiento debe ser lo suficientemente rápido para que el observador no perciba los parpadeos que se genera por la variación de la posición de la pantalla (puede ser un motor). Sin embargo, a pesar de la gran velocidad, es posible notar este parpadeo.

En realidad estos *displays 3D* han sido estudiados durante cien años, la construcción de estos complejos sistemas han sufrido variaciones según ha avanzado la tecnología. Generalmente, utilizan una pantalla vertical sobre la que se proyecta imágenes desde diferentes perspectivas para que el resultado final sea una escena tridimensional. Estas tecnologías de proyección pueden emplearse mediante diodos láser (RGB) para formar la imagen o bien con tecnología de procesamiento digital de luz (*Digital Light Processing, DLP2*).

A continuación se presenta un *display-3D* que corresponde a la primera generación, está fundamentada en el modelo Mark I, desarrollado por Stephen A. Benton, Mark Lucente, Paul M. Hubel en 1992. Trataremos de explicar su funcionamiento para tener una visión clara y esquematizada de las bases que se requieren para una proyección directa de una imagen tridimensional.

El haz pasa a través de la lente inicial (*Fourier Transform*), se transfiere por los canales RGB del modulador óptico-acústico, para luego alinearse a través del "*holographic beam aligner*". Una vez que el haz se ha tratado se refracta en el galvanometer compuesto por dos cristales que definen X e Y. Estos se mantienen en continua rotación por un motor que define su velocidad a través de la capacidad del voltaje recibido. Dicha refracción se escanea para su posterior tratamiento o bien se refractaría a través del



1. Lentes Fourier Transform
2. Holo-vídeo entradas de señal del modulador óptico-acústico (3 canales)
3. Alineador del haz holográfico
4. Escáner vertical galvo de alta velocidad
5. Spinnig polygonal mirror
6. Lente de aumento
7. Difusor vertical volumen de la imagen
8. El espectador

Fig. 51 Cómo se genera un holograma integral.

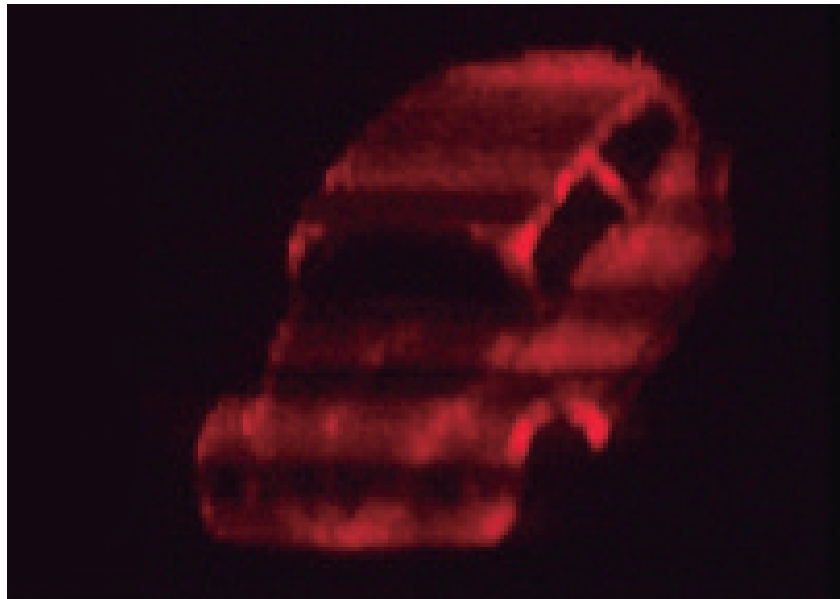


Fig. 52 *Holo Video Mark II*. Fotografía tomada en el MIT Media Lab.

Spinning polygonal mirror que se encuentra en rotación⁸¹. El haz es devuelto en 90 grados pasando por una lente de aumento, y consecutivamente el difusor delimita el inicio del volumen de la imagen final.

El *display* Mark-I puede renderizar imágenes a todo color con 25x25x25mm, en un ángulo de 15 grados, a 20 *frames* por segundo.

P. St.-Hilaire, S.A. Benton, M. Lucente, and P.M. Hubel, "Color images with the MIT holographic video display," in: S.A. Benton, ed., SPIE Vol. 1667, Practical Holography VI (Feb., 1992), paper 1667-73, pp. 73-84.

Y la pantalla Mark-II proporciona imágenes 150x75x150mm, con un ángulo de visión de 36 grados, alcanzando una velocidad de 2,5 fotogramas por segundo.

Existe una tercera generación Mark III, que no necesita complejos sistemas de

81. Esto es crucial en la presentación directa de la imagen volumétrica, ya que en algunos casos es necesario varios haces de luz para formarla.



Fig. 53 Benton, en 1986, demostrando como la imagen está flotando. Fotografía tomada en el MIT Media Laboratory.

hardware como sus antecesores. Puede procesar las imágenes tridimensionales a través de un procesador gráfico estándar, como las utilizadas en PCs de gama alta y consolas de videojuegos. Además posee un gadget llamado modulador acusto-óptico para dirigir la luz del láser en la formación del holograma. Este modulador tiene un mayor ancho de banda, con lo que la convierte en un holograma de alta resolución y es menos costoso que el utilizado para Mark II.

Para que se reproduzca el vídeo a tiempo real, el *software* calcula para descifrar la posición de todos los puntos de la superficie del objeto en las tres dimensiones. Actualmente, siguen examinando métodos para reducir el tiempo que se tarda en procesar la imagen, generar imágenes más realistas, la compresión de un holograma y en nuevos sistemas de visualización. Después, para la visualización del holograma, el *software* calcula la cantidad de los rayos láser que necesita para proyectar la luz. En esencia, el mismo patrón de refracción.

Más tarde, el Grupo de investigadores *Spatial Imaging del Instituto Tecnológico de Massachusetts*, (*Media Lab del M.I.T*) desarrolló un sistema que puede generar hologramas a gran velocidad, en una experiencia visual muy similar a un video. Este

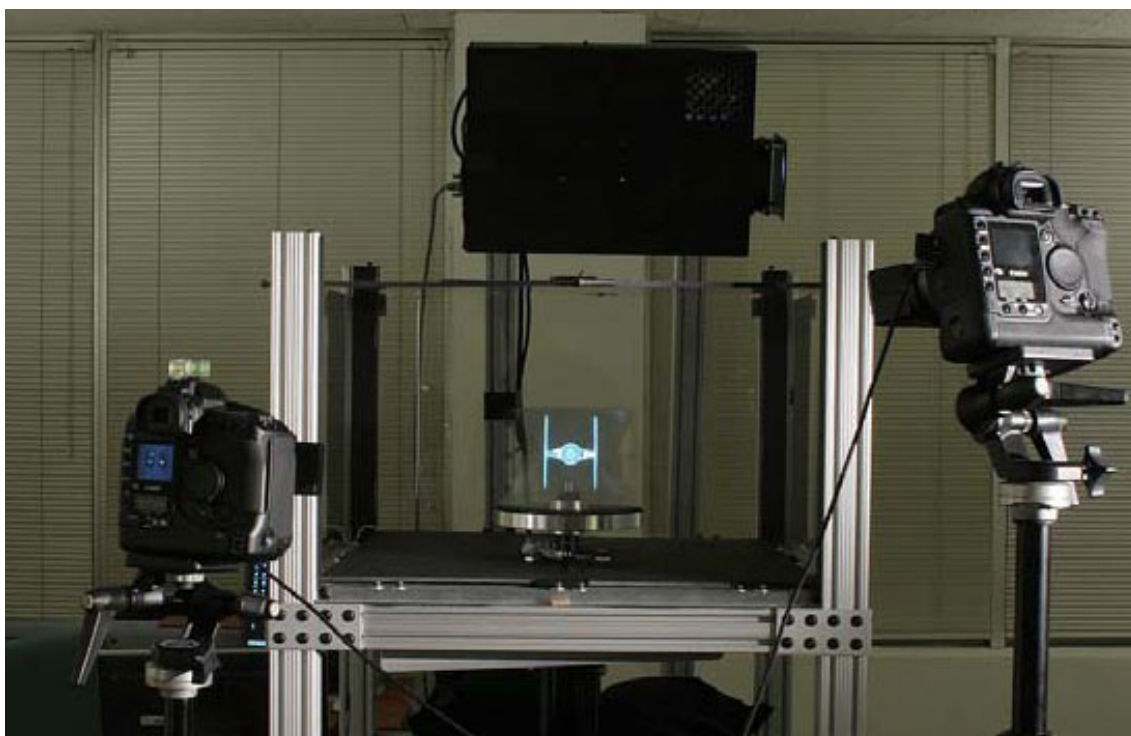


Fig. 54 Dispositivo de vídeo holográfico, *Fake Space Lab* creado por la empresa Sony.

proyecto fue dirigido por Stephen Benton.

Por este motivo, Michael Bove asume el control del grupo y las investigaciones continuaron sobre la captura de la imagen 3D a partir de los conocimientos de la electrónica: *“Nuestras pantallas son como las teles antiguas. Estamos refinando la tecnología para conseguir que sean planas”*. Ángel Luis Sucasas, 26 de Octubre de 2014, “El futuro es holográfico”, elpaís.com

En el SIGGRAPH 2007 fue presentado el dispositivo de vídeo holográfico desarrollado en conjunto por Andrew Jones, Ian McDowall, Hideshi Yamada, Mark Bolas y Paul Debevec, Sony Corporation, Fakespace Labs y la Universidad del Sur de California. El sistema presentado consta de un videoprojector, un espejo giratorio cubierto por un difusor holográfico y circuitería FPGA (*Field Programmable Gate Array*) para decodificar las señales de vídeo DVI. Se utiliza una tarjeta estándar de gráficos programables para renderizar más de 5.000 imágenes por segundo y proyectar vistas en 360 grados con una separación de 1,25 grados y hasta 20 actualizaciones por

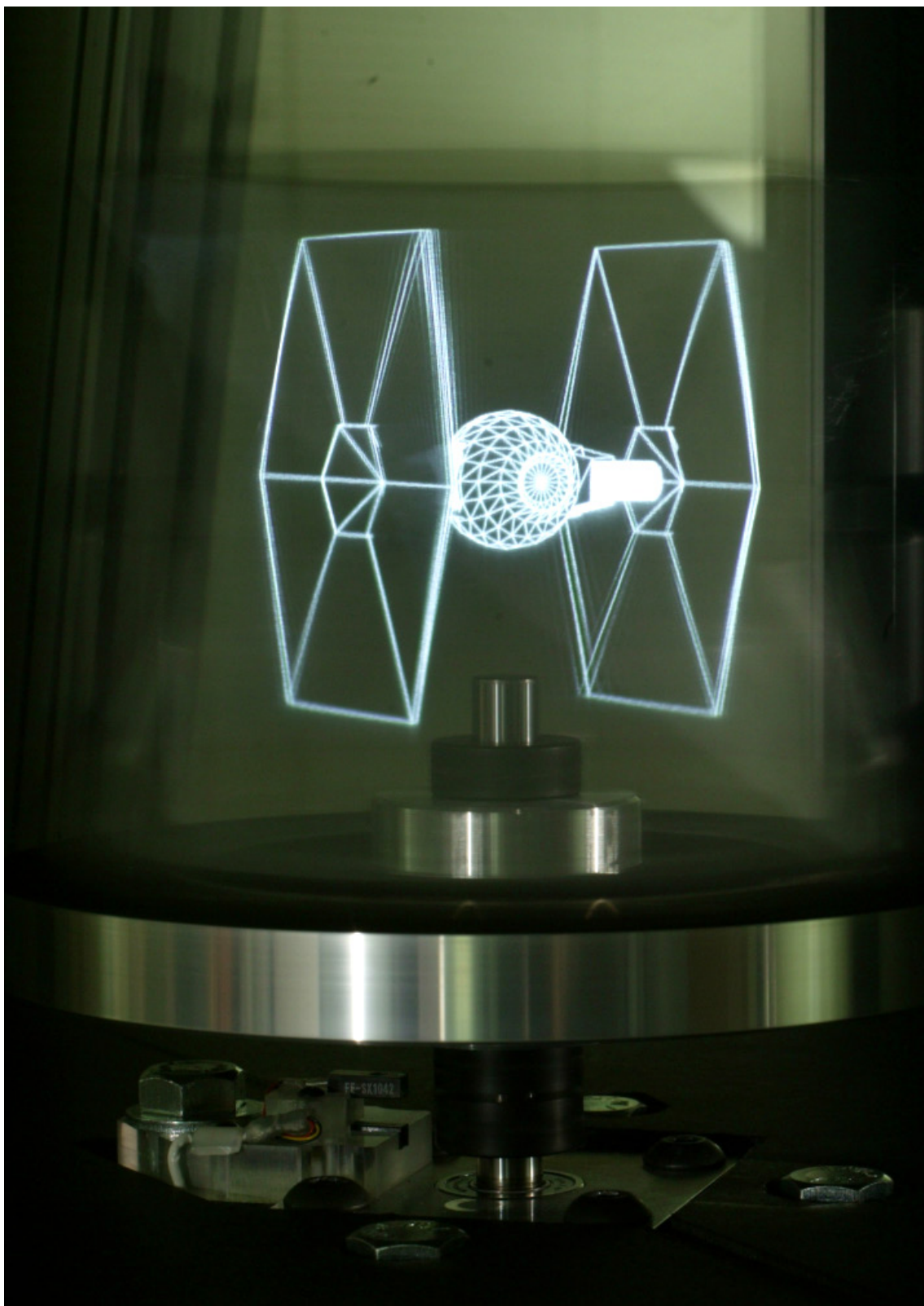


Fig. 55 Detalle del dispositivo de proyección *Fake Space Lab*.

segundo. *ACM SIGGRAPH conference proceedings*, 2007: p. 2

Dicha técnica permite que las imágenes se puedan ver correctamente tanto desde arriba como desde un punto relativamente alejado, y mediante un sistema de seguimiento permite interactividad con las imágenes holográficas para medir la altura del observador y la distancia. Por el momento esta técnica no permite sin embargo mostrar imágenes en color, pero si permite ver los hologramas sin gafas y sin ningún tipo de hardware especial.

Microsoft Research invirtió comprando la compañía de *software Vermeer Technologies* en Enero de 1996. Es conocido su proyecto de pantalla holográfica de 360°, el cual recibe el nombre de *Microsoft Vermeer*. La imagen del objeto 3D con la que se puede interactuar, flota en el aire gracias a un reflector con forma de parábola y mediante una serie de sensores o el Kinect, que permite rastrear los movimientos de los dedos. Por otro lado, se constata la existencia de otro grupo cuya materialización⁸² del holograma depende estrechamente de su sistema de salida. Algunos de estos, se generan en tiempo real, y con la capacidad de construir hologramas en movimiento, mediante pantallas de cristal líquido de alta resolución, o bien empleando *displays 3D*, Los cuales se han popularizado en los últimos años por su uso en salas y en publicidad.

La empresa nipona *Burton* está especializada en la proyección de imágenes 3D suspendidas en el aire, sin la necesidad de emplear una pantalla física.

Su invención *Aerial Burton* funciona con un láser de plasma, ionizando moléculas de aire. Las moléculas se ionizan y la energía se libera en forma de fotones, creando chipas luminosas.

82. La elección del soporte y de los dispositivos es importante saberlo ya que harán posible la materialización de los hologramas, y condicionarán los patrones de interferencia disponibles.



Fig. 56 Detalle del dispositivo de proyección *Aerial Burton*.

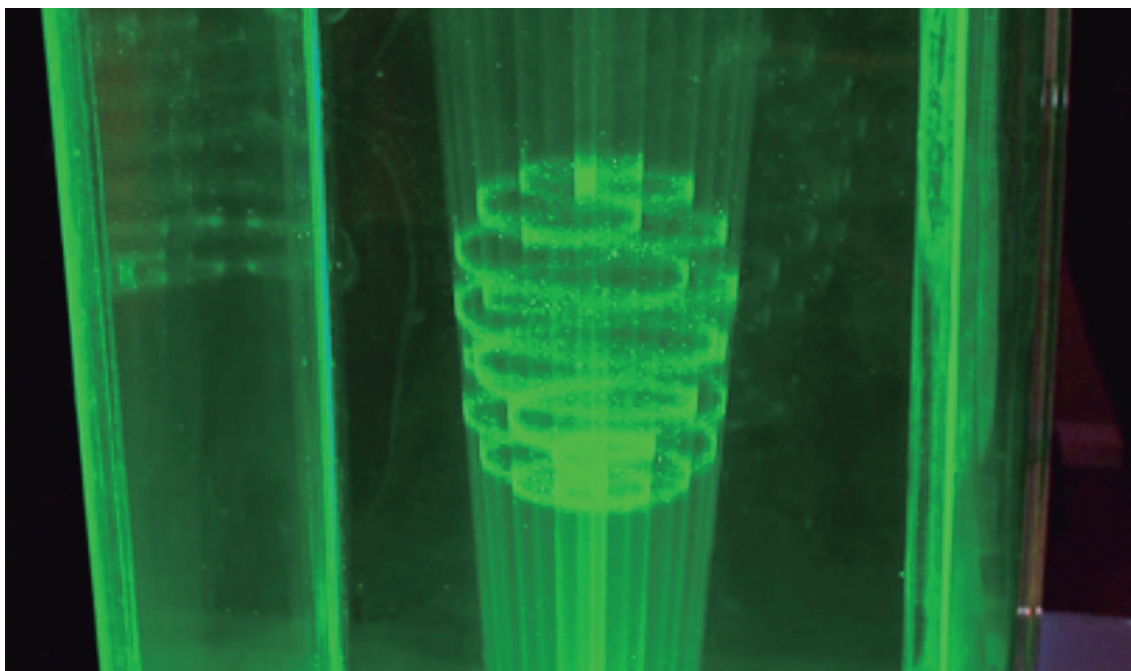


Fig. 57 Dispositivo de proyección, *Aerial Burton* creado por la empresa Burton.

El dispositivo es capaz de proyectar hasta 50.000 puntos a 10-15 frames por segundo, aunque están trabajando en mejorar la velocidad de proyección.

Han conseguido crear 50.000 puntos de luz por segundo y una velocidad de entre 10 y 15 fotogramas por segundo. El vídeo convencional emite entre 24 y 30 fotogramas por segundo según el sistema de reproducción, de modo que ahora mismo Aerial 3D funcionaría como los antiguos vídeos que parecían ligeramente ralentizados.

Otro caso más particular, es el equipo de investigadores de la Universidad de Arizona (UA), liderado por el ingeniero óptico, Nasser Peyghambarian, ideó una película holográfica basada en polímeros para proyectar imágenes en movimiento a través de una pantalla. La pantalla está compuesta de un material llamado *polímero fotorrefractivo* que renueva los hologramas cada dos segundos, lo que permite actualizar las imágenes casi a tiempo real.

El *software*, como el de los anteriores experimentos, utiliza un conjunto de números que describen la posición de todos los puntos en la superficie de los objetos en las

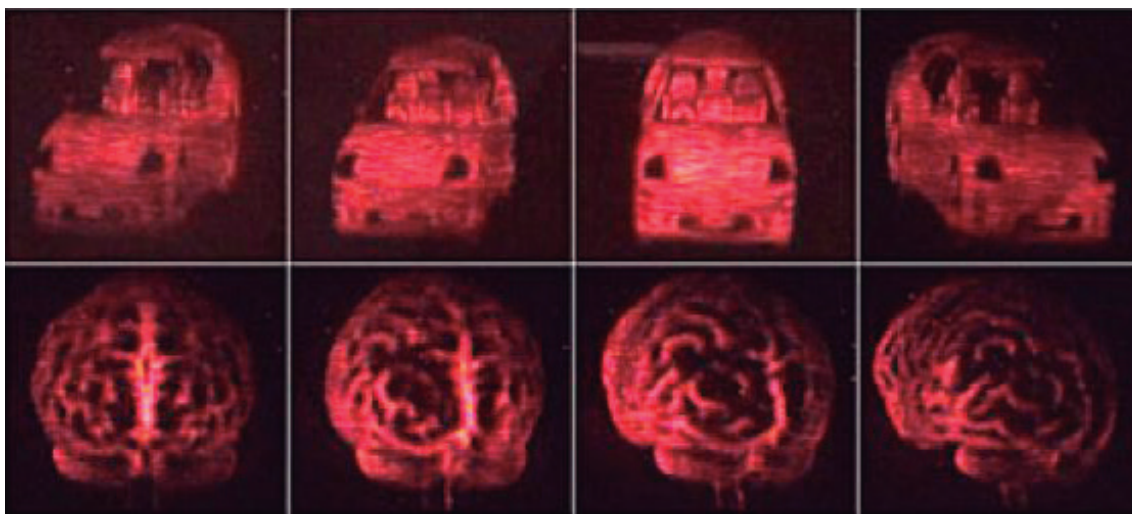


Fig. 58 Vistas de un automóvil (arriba) y de un cerebro humano (parte inferior) de la pantalla holográfica de polímero fotorrefractivo desarrollado en el Colegio de Ciencias Ópticas de la Universidad de Arizona en colaboración con Nitto Denko Corp. Técnica, Oceanside, California.

tres dimensiones. Después el *software* calcula la cantidad de rayos láser que necesita para proyectar la luz y crear el holograma.

El proceso de funcionamiento comienza registrando las imágenes del objeto con una serie de cámaras ordenadas en semicírculo.

La información recogida por las cámaras es codificada en un haz láser de pulso rápido, que interfiere con otro haz que sirve como referencia. El patrón de interferencia resultante es registrado en el polímero fotorrefractivo, donde se crea y almacena la imagen. Cada pulso del láser registra un “*hogel*” en el polímero⁸³.

En este momento, nos encontramos ante una actividad de consumo que se dirige cada vez más a la consecución de un verdadero dispositivo que reproduzca vídeo en 3D sin necesidad de un soporte físico. En este sentido, se pretende que los

83. Es la versión tridimensional del píxel, es una parte del holograma, una de las unidades básicas que conforman la imagen.

teléfonos móviles obtengan tecnología holográfica para realizar video conferencias.

La compañía china Shenzhen Estar *Displaytech* ha creado el primer Smartphone holográfico. El teléfono, llamado *Estar Takee T1*, puede proyectar sobre su pantalla una imagen tridimensional, gracias a los haces de luz que arroja por el complejo sistema de cámaras que posee. Los sensores pueden reconocer los gestos en el aire, sin necesidad de tocar la pantalla.

La empresa Apple tiene dos patentes sobre tecnología de hologramas. La última es conocida como “*Interactive holographic display device*”, liderada por Christopher Horst Krah, investigador estadounidense de Los Altos (California). Según lo publicado por la Oficina de patentes de Estados Unidos:

La información de una imagen se transmite a uno o varios haces que generan una imagen holográfica del objeto. Uno o más sensores ópticos pueden configurarse para obtener información para detectar la ubicación de un dispositivo interactivo (por ejemplo: el dedo de un usuario) respecto al holograma. Uspto.gov, The United States Patent and Trademark Office an agency of the Department of Commerce.

Aun así el número de patentes que se registran al año por compañías multinacionales como *Apple* es muy alto, todo por un motivo de competitividad empresarial.

En el décimo aniversario de Skype, confirmaron los ejecutivos de la compañía en una entrevista el interés por explorar las posibilidades comerciales en este campo, aplicadas en este caso a la comunicación interpersonal.

Skype pertenece a Microsoft, busca una manera para revolucionar las videoconferencias. Se dio a conocer en una entrevista en la BBC por Mark Gillet, ejecutivo de Microsoft y responsable de Skype.

[...]As we work with that kind of technology you have to add multiple cameras to your computer, precisely calibrate them and point them at the right angle[...][...]We have it in the lab, we know how to make it work and we’re looking at the ecosystem of devices and their capability to support it in order to make a decision when we might think about bringing something like that to market. (Kelion L, 2013, “Skype confirms 3D video calls are under development”, bbc.com/news/technology)

[...]A medida que trabajamos con ese tipo de tecnología, tenemos que añadir múltiples cámaras al ordenador, precisamente calibradas y apuntar al ángulo correcto[...][...]La tenemos en el laboratorio, sabemos cómo hacer que funcione y estamos mirando el ecosistema de dispositivos y su capacidad de soportarlo, con el fin de tomar una decisión sobre cuando podríamos pensar en traer algo así a mercado.

3.3 La Realidad Virtual

3.3.1 Definición de la Realidad Virtual

Según algunos escritores que abordan el término de la **Realidad Virtual**, la idea de construir un mundo paralelo es muy antigua.

El hombre siempre ha tenido la necesidad de apoderarse de todo aquello que le rodea, y para ello emplea el conocimiento con la finalidad de reconstruir mundos artificiales y crearlos a su medida. Este deseo de codificar un nuevo universo ya se encontraba en la actividad artística de la Época Clásica, como es el caso de los espectáculos mitológicos, los festejos sociales o las representaciones teatrales. Estos acontecimientos han tratado de simular la realidad en espacios ficticios, aunque muchos filósofos ya sostenían la posibilidad de una Realidad Virtual similar al ciberespacio. En la República, Platón expone la alegoría de la cueva como una de las primeras realidades conceptuales. Sugiere que nos encontramos en una Realidad Virtual que nuestro pensamiento nos hace concebir como verdadera.

Por tanto, el término de Realidad Virtual se refiere a todo aquello que tiene existencia aparente y no real. El cerebro es engañado para percibir nuevas realidades a través de las alucinaciones o espejismos que nos alejan de nuestro entorno.

El hombre ha buscado siempre la desconexión con el mundo real. Algunos piensan que el inicio de estas experiencias de desrealización se debe al consumo de sustancias psicotrópicas.

La literatura de ciencia ficción (década de 1920) y el *Ciberpunk* se anticiparon a lo que supondría la Realidad Virtual y sus futuros artefactos.

El término de “*ciberespacio*” fue utilizada por primera vez por el escritor William Gibson (1948) en su cuento *Burning Crome* (1982), y más tarde se popularizó en su novela *Neuromante* (1984), donde describe un universo futurista en el que el

protagonista se mueve en dos mundos diferentes: el espacio real, la tierra, y uno virtual generado por una consola y otras conexiones.

El arquitecto e investigador cinematográfico Jorge Gorostiza ha realizado un breve análisis sobre la arquitectura de la ciberrealidad basándose en el género cinematográfico. En las obras que tratan la Realidad Virtual antes de llegar a su materialización histórica hay un tránsito o trayecto construido por líneas, planos y figuras geométricas¹ (p.181) al que denominan inmersión.

Una vez realizado este tránsito entre las dos realidades, se llega a otra dimensión. La arquitectura con la que está construido ese mundo puede ser de dos tipos: naturalista, que reproduce una arquitectura real como pueden ser ámbitos del pasado o del futuro; o imaginaria, que comprende espacios que no existen en la realidad.

“La Realidad Virtual es una realidad alternativa en la que no se trata de sintetizar una máquina sino la propia realidad.” Alejandro Pisticelli (1995, 81). La Realidad Virtual pasa por una nueva forma de combinar el cuerpo humano con la máquina y por una concepción totalmente original de concebir y manipular el espacio.

David Miraut en *La importancia de la interacción: La Realidad Virtual*, observa que “Realidad Virtual” se compone de dos términos muy contradictorios entre sí; por un lado el concepto de realidad se define como aquello que se puede percibir mediante los sentidos (realidad directa), mediante máquinas (realidad indirecta), o que nos han transmitido (realidad referenciada); por otro lado está presente el concepto virtual, que también de manera simplificada se puede definir como aquello que se percibe pero que no es real en ese momento y en ese lugar.

La Realidad Virtual persigue engañar los sentidos de manera que aquello que se perciba pueda ser interpretado como real. Para ello hay que estimular múltiples canales sensoriales que desencadenen reacciones fisiológicas, siendo éstas muy similares a las que tendríamos en una situación real.

Los sentidos son los que nos informan de la existencia de un mundo o un entorno.

Normalmente en las aplicaciones tecnológicas se recurre a la vista, el oído y el tacto, el resto de los sentidos es menos frecuente encontrarlos.

Existen tres características fundamentales en un sistema de Realidad Virtual:

Inmersión. Se refiere al estado del usuario, que pierde contacto con la realidad y percibe únicamente estímulos del mundo virtual. Este mundo que se percibe es lo que se denomina mundo virtual y viene definido mediante modelos tridimensionales que forman el escenario y los objetos, así como el comportamiento de los mismos.

Interacción. El usuario actúa como en el mundo real, moviéndose por el entorno; es decir se realizan acciones a las que el entorno debe responder en tiempo real. Debe existir una coherencia temporal entre lo que sucede en el mundo real y en el mundo virtual. Para que la simulación resulte creíble, los movimientos del usuario deben de estar acompasados. El tiempo de lo que sucede tiene que ser similar al tiempo que transcurriría en una situación real.

Imaginación. La imaginación está presente en dos vertientes; la primera de ellas se refiere a la capacidad que tiene el ser humano para imaginar lo que no existe. La mente del usuario va a completar o adaptar información existente para suplir algunas carencias del sistema de Realidad Virtual y propiciar la sensación de inmersión.

3.3.2 El entorno virtual y la Realidad Aumentada como aplicación social

Desde la década de 1950, los científicos aplicaban la simulación en sus investigaciones para comprobar sus teorías.

En las últimas décadas se ha invertido un gran esfuerzo por parte de la comunidad científica en el campo de la RV. Este interés se debe a los beneficios que puede aportar en multitud de campos y a la infinidad de nuevas posibilidades de interacción, lo que hace que esté presente en muchos ámbitos tales como la arquitectura, la

educación, el arte, o la medicina.

Aunque no ha sido posible introducir la Realidad Virtual dentro de un espacio compartido de la comunicación, sí resulta útil a día de hoy en los aspectos tecnológicos y de aplicación a las ciencias y el comercio. Las barreras tecnológicas pronto se disolverán, y más en un mundo donde la informática y sus aplicaciones determinan tanto el aspecto social como el económico de la misma.

En los sistemas de Realidad Virtual se pueden encontrar aplicaciones de gran variedad, sobre todo para adquirir y desarrollar ciertas destrezas.

Los dispositivos son útiles para los entrenamientos, ya que permiten al usuario realizar repetidas veces el mismo ejercicio sin tener que preocuparse de los daños o errores que pueda cometer.

Con estos sistemas se pueden realizar estudios o simular situaciones reales de alto riesgo, como pueden ser la actividad de un volcán u otros fenómenos físicos, que permiten a los individuos ponerse a prueba a través de entrenamientos inmersos. De esta manera, los usuarios se enfrentarán con mayor seguridad a la situación real posterior, puesto que se trata de una situación que ya ha sido vivida.

En la enseñanza, permite a los estudiantes desarrollar habilidades para dominar ciertas materias, ya sean destrezas manuales, aumento del intelecto del individuo o mejora de su capacidad social (crecimiento personal). Es conocido el término *edutainment* en los videojuegos como herramienta didáctica para los estudiantes, y también como un recurso pedagógico a disposición de los docentes. Los niveles de los ejercicios están diseñados de forma progresiva dependiendo de la dificultad del usuario.

Actualmente, las nuevas generaciones ya en edades tempranas se encuentran muy familiarizados con las nuevas tecnologías, por lo que sus individuos son denominados como nativos digitales. Este hábito les permite ejercitar la interactividad sin grandes esfuerzos, como en el caso de la coordinación de ojos-manos, así como la relación y orientación espacial: 3D y 2D, o puede estimular la curiosidad explorando nuevas herramientas y accediendo a nuevos niveles,...

El uso de marcas y las interfaces tangibles es un recurso muy frecuente para este sector con fines educativos, ya que dadas sus características permiten explorar modelos

virtuales tridimensionales, sin la presencia de elementos hardware intermediarios en la interacción, lo que también favorece en la rentabilidad de esta tecnología.

En el área de la medicina tradicional en concreto se solían emplear cadáveres, una práctica que resultaba difícil de realizar durante repetidas veces; en cambio con estos sistemas se pueden visualizar modelos anatómicos tridimensionales de manera inmersiva, con lo cual el cuerpo no sufre degradaciones o, si la práctica se realiza en un paciente real, se pueden evitar graves consecuencias.

En el campo del ocio, estas tecnologías han tenido gran aceptación durante las dos últimas décadas. Actualmente la industria de los videojuegos representa uno de los sectores más sólidos dentro del sector. Los estudios competidores siempre se ven en la obligación de igualar las calidades gráficas, buscando escenarios cada vez más inmersivos, y no solamente de carácter visual, sino también con sensaciones físicas y psíquicas. Para optimizar la sensación de inmersión el usuario interactúa con el entorno virtual, moviéndose y manipulando objetos virtuales.

Computer Assited Virtual Environment o CAVE, que en español significa cueva, es una sala en forma de cubo en la que cada una de las paredes tiene una imagen proyectada, formando en su conjunto un entorno virtual, y en la que el usuario puede interactuar a través de unas gafas especiales.

Este proyecto fue creado en 1990 por los científicos Thomas Defanti y Dan Sandin, ambos directores de *Laboratorio de Visualización Electrónica* en la *Universidad de Illinpis* en Chicago, cuyas conclusiones fueron presentadas en las conferencias que tuvieron lugar durante el SIGGRAPH 93.

Actualmente, este sistema ha sido mejorado con 16 proyectores de alta resolución y se emplea para mejorar el proceso de la formación profesional, especialmente para estudiantes de ingeniería (operaciones de construcción, capacitación de los pilotos u otros oficios variopintos).

Durante este periodo, la empresa *Virtual World Entertainment*, desarrolló las primeras salas de juego de Realidad Virtual a gran escala, conocida como "*Battle Tech Center*".

Se abrió también en 1990 y en la misma ciudad, Chicago aunque hoy se pueden encontrar en varios sitios alrededor de los Estados Unidos. La historia del juego trataba de una guerra futurista en el año 3025, librada por potentes robots llamados *Battle Mechs*, controlados por seres humanos. La técnica era idéntica al que se empleaban por aquel entonces para los simuladores militares. El centro contaba con 16 *cockpits*⁸⁴ en los que se pueden jugar simultáneamente hasta cuatro equipos. En 1993, los jugadores podían competir contra jugadores de otros centros en todo el país. En este proyecto se pretendía que con la ayuda de una gran inyección de capitales, permitiese la apertura de nuevos centros en todo el mundo, de manera de que se convirtiese en una inmensa red de equipos donde se disputarían torneos desde todo el planeta, pero desgraciadamente la expansión sólo llegó hasta Yokohama, Japón, en septiembre de 1992.

La empresa aeroespacial *Hughes Aircraft Co.* y la empresa de videojuegos LucasArts Entertainment también llegaron a desarrollar un juego de Realidad Virtual basado en un *cockpit*⁸⁵, conocido como *MIRAGE*, donde se configuraba una red de hasta 16 simuladores en los que varios equipos podían jugar entre sí. En el *MIRACLE*, además de superar muchos aspectos técnicos con respecto a otros simuladores anteriores, consiguieron que la cabina tuviera un diseño muy auténtico, gracias a los conocimientos de Hughes sobre simuladores de vuelo. En cambio, la contribución de Lucas Arts al proyecto consistió en aportar los conceptos creativos de juegos popularizados por las películas de *Star Wars* (conocidas en español como *La guerra de las galaxias*).

Otro ejemplo de ocio, son los VEC, *Virtual Entertainment Centers*, que es el nombre técnico que reciben los parques de atracciones virtuales. El proyecto *The Void*, creado por Curtis Hickman (Logan, Estados Unidos, 1981) y Ken Bretschneider, quienes

84. Diseñadas por Frog Design, empresa de diseño e innovación mundial fundada en 1969 por el diseñador industrial Hartmut Esslinger en Mutlangen, Alemania. Actualmente la sede se encuentra en San Francisco, California, con el nombre de Frog (2011).

85. Cabina aeronave, con instrumentos y controles que permitirían a un piloto volar un avión.

implantarán estos parques temáticos por todo el mundo, está situado en Utah, Estados Unidos. Allí los usuarios pueden moverse por espacios vacíos, equipados con chalecos y guantes hápticos, además de gafas HMD.

En consecuencia, el proceso de los simuladores debe resolver todas las acciones (como detectar y tratar las colisiones), de manera que el usuario no perciba cadencia del sistema. Un equilibrio fluido entre la simulación y los cálculos realizados para que se cumpla en tiempo real también se vuelve imprescindible.

Otro incidente que hay que tener en cuenta con las tecnologías virtuales, es el mareo que supone los simuladores. La mayor parte de la gente es sensible al mareo inducido por movimientos periódicos del cuerpo y también al provocado por ciertas sucesiones de imágenes. Los primeros estudios que informaban sobre efectos secundarios tras el uso de la RV, se remontan en 1957 [Havron y Butler, 1957].

Aunque más tarde, se han realizado numerosos estudios con distintos sistemas inmersivos: simuladores de helicópteros, entornos virtual CAVE, videojuegos, e incluso sistemas semi-inversivos y de proyección...Y en todos ellos, concluyeron sobre la importancia de los efectos visuales y de inercia, pero no indicaron la forma de evitar o prevenir esos mareos inducidos por la Realidad Virtual. Sí comprobaron que cuando el individuo tiene este cúmulo de circunstancias entra en un estado de ansiedad, y además cuando se repite la misma experiencia, el individuo puede mantenerse en los niveles iniciales y generar una adaptación a esa experiencia, aunque siempre y cuando no se realice sesiones largas o intensas, ya que podría aumentar la molestia. Por tanto, sólo la experiencia puede ayudarnos a determinar la capacidad de un sistema virtual para inducir mareos, es decir nos orientamos basándonos en pruebas y estudios reales con individuos para determinar una calibración de los mecanismos. Por otro lado, existen hipótesis sobre el exceso de consumo de la RV en un futuro, como un medio de aislamiento y desequilibrio emocional⁸⁶, de tal manera de que el

86. Uno de los primeros en analizar los efectos psicológicos que podrían provocar un entorno virtual fue Wilson Jhon R. en su artículo *Effects of participating in virtual environments: A review of current knowledge* (1996) publicado por la revista *Safety Science*, y además se publicaron numerosos artículos en la revista MIT Press, *Presence* como

individuo no acepte la propia realidad. El contenido de los juegos es esencial desde el punto de vista del impacto psicológico y sociológico de los sistemas de Realidad Virtual. Al igual que se puede desarrollar la destreza, los reflejos, el espíritu lógico, la creatividad, etc.; también podría favorecer la agresividad, el racismo y muchas otras perversiones.

El individuo debe dosificarse de manera realista el control de su uso y deberá apoyarse en sus sentidos de la responsabilidad.

3.3.3 La Realidad Aumentada

Otra tecnología derivada de la Realidad Virtual es la **Realidad Aumentada**, en inglés *Augmented Reality*, abreviada comúnmente con el acrónimo AR. Es ésta una tecnología que complementa la percepción e interacción con el mundo real y que permite al usuario estar en un entorno real aumentado con información adicional generada por el ordenador.

Se trata de una *realidad mixta*, donde las imágenes reales tomadas directamente por una cámara se superponen con elementos virtuales que coloca el *software* en la escena. El usuario del sistema debe apreciar la escena como una escena real, en la que se integran señales generadas con programación. Para ello se necesita un dispositivo que se encargue de recoger la información de la realidad y un *software* para crear las imágenes virtuales, y es en esto en lo que se diferencia de la Realidad Virtual, en la que todos los elementos están digitalizados y tratados por el *software*.

Measuring presence in virtual reality environments: a presence questionnaire por Bob G. Witmer y Michael J. Singer. Aunque hay otros que reflejan estudios más recientes. Uno de estos estudios, fue puesto en práctica por Frederick Aardema, Kieron O'Connor, Sophie Côté, Annie Tilton, M., a 30 pacientes, quienes determinaron que después de una experiencia inmersiva, los pacientes muestran síntomas disociativos con trastornos de ansiedad. En contrapartida, hay otras hipótesis que sustentan que la RV podría ser un apoyo para la psicología social y que puede hacer avanzar investigaciones que abarcan áreas de las ciencias psicológicas, uno de los primeros en abrir esta puerta fue Myron W. Krueger en el artículo *The Experience Society* (1993) de la MIT Press Journal, *Presence*.

El escritor William Ford Gidson ya describía en su novela *“Luz Virtual”* (1994) unos anteojos, igualmente llamados Luz Virtual, que tienen algunas de las características de lo que es conocido actualmente como Realidad Aumentada (quien las usaba podía ver apuntes y detalles adicionales que se adjuntaban a la realidad física que se percibía), y que eran comúnmente usadas por los arquitectos al visitar obras en campo.

Durante el siglo XX la consecución de esta tecnología fue de la mano con el progreso de la Realidad Virtual, aunque su desarrollo como una tecnología con entidad propia se da cuando empieza a desvincularse de la Realidad Virtual en la década de los 90. La expresión “Realidad Aumentada” fue acuñada en 1992 por el profesor Thomas Preston Caudell de la Boeing, quién utilizó esta expresión para describir un sistema de nueva generación que habría ayudado en el ensamblaje e instalación de cables eléctricos en los aviones (Caudell & Mizell 1992). En los años sucesivos, el AR ha sido principalmente una tecnología experimental estudiada en diversos laboratorios y universidades del mundo.

En 1994, Paul Milgram y Fumio Kishino establecieron una clasificación del nivel de virtualidad que el usuario puede encontrar según su capacidad de inmersión en un medio digital a través de un determinado *display* o dispositivo de pantalla.

Esta clasificación fue expresada en el denominado continuo de la virtualidad, *virtuality continuum*. En este se situaba en uno de los extremos los entornos reales y en el extremo opuesto los entornos virtuales. Los primeros, como su nombre indica, son aquellos que presentan solamente objetos reales mientras los entornos virtuales están constituidos solamente con elementos virtuales. Entre uno y otro existe una transición donde se encuentran los entornos de realidad mezclada (*mixed reality*), que serían aquellos en los que los objetos reales y los objetos virtuales se presentan combinados en un mismo espacio mediante el uso de un *display*. Se establece así una subclasificación de las tecnologías relacionadas con la Realidad Virtual que implican la fusión entre el mundo virtual y el mundo real, constituyendo un paso intermedio entre un extremo y otro del continuo.

Según el grado de virtualidad o realidad que presenten los entornos enmarcados en esta sección intermedia denominada realidad mezclada, podemos encontrar entornos de virtualidad aumentada, *augmented virtuality* y entornos de Realidad Aumentada, *Augmented Reality*. En cuanto a los primeros, estos estarían mas cercanos a la Realidad Virtual, ya que se trata de escenarios generados virtualmente en los que se añaden elementos del mundo real mediante la inclusión de gráficos de vídeo de un entorno real o texturas de objetos reales que se aplican al escenario virtual. Por otra parte, los entornos de Realidad Aumentada son aquellos en los que se aumenta el mundo real mediante gráficos generados por ordenador.

Por tanto, el continuo de la virtualidad describe la transición que existe entre los entornos reales y los virtuales, donde la Realidad Aumentada formaría parte de esta área intermedia denominada como realidad mezclada, constituido por objetos reales a los que se añaden elementos virtuales.

En los años sucesivos, el AR ha sido principalmente una tecnología experimental en continuo crecimiento, sirviendo para el estudio de numerosas investigaciones en diversos laboratorios y universidades del mundo, que junto a los avances científicos y tecnológicos ha dado lugar a su maduración y aplicación en diferentes áreas, apareciendo diferentes monografías que versan sobre el tema.

En 1997 Ronald Azuma determinó más concisamente las diferentes características que permiten su definición y diferenciación de la Realidad Virtual, basándose en tres pilares básicos: combina lo real y lo virtual en un entorno real, es interactivo en tiempo real, y tiene un registro tridimensional.

Con esta descripción quedaría diferenciada de la Realidad Virtual, como un sistema que combina elementos tomados del mundo real con elementos virtuales.

La incorporación de técnicas de visión en el sistema de seguimiento se puede realizar de muchas formas distintas, entre ellas mediante puntos de referencia situados en

el entorno, donde el reconocimiento está basado en marcas fiduciales, que sirven de referencia para insertar un determinado objeto virtual de la escena real. Otra manera de incorporación consiste en emplear técnicas de reconocimiento de rasgos naturales o modelos para realizar el registro, que incluyen una serie de parámetros referentes al escenario real que se encuentran predefinidos por el sistema, de modo que al reconocer dichos parámetros se genere una escena aumentada con los gráficos virtuales.

Habitualmente, el único órgano que recibe los estímulos en los sistemas de Realidad Aumentada, es el ojo, por lo tanto, los elementos mecánicos que conforman estos dispositivos son de carácter visual.

A continuación clasificaremos los tipos de dispositivos que se encuentran en el campo de la Realidad Aumentada.

- **Dispositivos *video-through*.** Dentro de este grupo se encuentran aquellos dispositivos que realizan la captura de imágenes o video en tiempo real del entorno circundante, a las que se superponen los gráficos virtuales. También son conocidos como handheld *displays*, que no son otra cosa que visualizadores de mano o portátiles que combinan procesador, memoria, visualizador o pantalla. Ejemplos de estos dispositivos son las tablets, los PDAs (*personal digital assistant*), los teléfonos móviles, etc., que permiten la interacción en un solo aparato, y conexiones inalámbricas (*wireless*).

A diferencia de los *displays* para la cabeza, éstos no permiten interactuar con el entorno, ya que las manos siempre las mantenemos ocupadas y nuestro campo visual permanece limitado.

En estos dispositivos se suele emplear el reconocimiento por marcadores, que permite recrear gráficos 3D a partir de una imagen o marca impresa, la cual es capturada por la cámara del dispositivo y es procesada por el sistema.

- **Dispositivos *see-through*.** También conocidos como *head-mounted*, son dispositivos con sistemas más complejos (en el siguiente apartado veremos

algunos ejemplos) que procesan en tiempo real la escena que el usuario visualiza del entorno y la información aumentada.

Estos dispositivos see-through llevan años siendo usados, ejemplo de ello son los *Head Up Displays* (HUDs) utilizados por los aviones de combate para mostrar información al piloto sobre altura, velocidad, identificación de blancos, y otros sin necesidad de apartar la vista de la zona frontal de la cúpula de su cabina.

Es muy importante que la utilización de los dispositivos se lleve a cabo un correcto registro y posicionamiento de los objetos virtuales en el entorno real. Este requiere un seguimiento exacto del campo de visión del usuario junto a una correcta identificación y localización de los objetos en el entorno. Podemos encontrar varias técnicas de seguimiento que permiten identificar la posición y orientación de un usuario, así como las coordenadas de los objetos virtuales que se insertan en un espacio real.

En los dispositivos de pantalla o de proyección holográfica se integran señales generadas con programación, el usuario del sistema debe apreciar la escena como una escena real.

Normalmente estos dispositivos se componen por un sistema de visualización, una unidad de entrada que bien puede ser una cámara o un GPS para que nos sitúe en el espacio, y un procesador capaz de realizar las tareas de análisis y renderizado de la imagen de vídeo en tiempo real.

- **Displays espaciales.** Otra clasificación que tiene suma importancia es la de los conocidos como *displays espaciales*, basados en proyecciones y que no son portados o manipulados por el usuario, sino que van integrados en el entorno donde este se encuentra. Estos dispositivos van asociados al concepto de Realidad Aumentada espacial y se diferencian principalmente en la forma en que se aumenta el entorno: de vídeo, ópticos o de proyección directa. Este último tipo de *displays de proyección* ha dado lugar a la aparición de una modalidad que se denomina Realidad Aumentada Espacial (*Spatial Augmented Reality*) y ocupa gran parte de las investigaciones actuales. Principalmente se caracteriza porque

no es necesario disponer de un visualizador que muestre al usuario el entorno aumentado, sino que este aparece directamente dentro de su campo visual. Otras características son que permite la participación de varios usuarios y que deben ser empleadas en lugar concreto, debido a que son aplicaciones estáticas en cuanto a su configuración.

Gracias a estos dispositivos y sus aplicaciones se han considerado como una herramienta óptima y de gran utilidad dentro de las tecnologías de la información y la comunicación.

Muchas empresas y organizaciones han puesto esta tecnología en su punto de mira, realizando grandes inversiones para aprovechar sus posibilidades y así llamar la atención del público. Los departamentos de publicidad y *marketing* de las empresas utilizan este recurso como una alternativa más, buscando el valor añadido a los productos gráficos, y con el afán de sugerir ideas para desarrollar nuevas líneas de negocio. Puede resultar muy atractivo poder ver el modelo de un coche que te interesa en tres dimensiones, ver los letreros o carteles virtualmente, las señales de tráfico, los elementos de decoración o escaparates,...

Esta capacidad de mezclar el mundo real con el virtual ofrece grandes posibilidades en el desarrollo del conocimiento. Sin embargo, la aplicabilidad de esta tecnología en la docencia aún es mínima; entre otros motivos, esto se debe a su escasa presencia en los ámbitos cotidianos de la sociedad.

Su divulgación podría contribuir a mejorar la labor docente para facilitar la comprensión de las materias en distintas disciplinas y facilitar su aprendizaje experimentando. La creación de libros interactivos permite observar unos modelos tridimensionales estáticos y dinámicos, consiguiendo la sensación de que estos emergen de las páginas.

Uno de los casos más significativos en este campo, al constituir una de los primeros ensayos, fue desarrollado por el *Human Interface Technology Laboratory* de la Universidad de Washington, que presentó el denominado *Magic Book*, una de las

aplicaciones más conocidas de la Realidad Aumentada en la educación. En él, el empleo de un *display de mano* (*handheld display*) está conectado a un ordenador que procesará los datos capturados por la cámara del *display* y que se corresponden con unas marcas impresas en las páginas del libro. El ordenador realiza el renderizado de la imagen real con el modelo virtual que se corresponde con la marca y posteriormente se muestra la imagen aumentada en la pantalla del dispositivo. Además es posible realizar una transición desde el entorno aumentado al virtual, quedando el usuario en un escenario virtual.

En la actualidad hay *software* de carácter didáctico bajo licencias públicas que están desarrollados para crear rápidamente pequeñas y sencillas aplicaciones de Realidad Aumentada. Un ejemplo de ello es el *Designer's Augmented Reality Toolkit* (DART), un sistema de programación que fue creado por el *Augmented Environments Lab* en el *Georgia Institute of Technology* para ayudar a los diseñadores a visualizar la mezcla de los objetos reales y virtuales. Proporciona un conjunto de herramientas para los diseñadores: extensiones para el *Macromedia Director* (herramienta para crear juegos, simulaciones y aplicaciones multimedia) que permiten coordinar objetos en 3D, vídeo, sonido e información de seguimiento de objetos de Realidad Aumentada.

También es conocida la librería *ARToolKit*, que ha sido empleada para la aplicación en asignaturas de diversas áreas del conocimiento. Fue creada por el Dr. Hirokazu Kato en 1992, y su continuo desarrollo está siendo apoyado por el *Laboratorio de Tecnología de interfaz humana* (HIT Lab) de la Universidad de Washington, NZ HIT Lab. de la Universidad de Canterbury, Nueva Zelanda y *ARToolworks, Inc, Seattle*. Actualmente se mantiene como un proyecto de código abierto alojado en *SourceForge* con licencias comerciales disponibles en *ARToolWorks*.

Las bibliotecas de seguimiento de vídeo *ARToolkit* pueden sobreponer imágenes virtuales al mundo real. Para ello, utilizan las capacidades de seguimiento de vídeo, con el fin de calcular, en tiempo real, la posición de la cámara y la orientación relativa a la posición de los marcadores físicos.

El resultado se obtiene, cuando el usuario mueve la tarjeta, el personaje virtual se mueve con él y aparece unido al objeto real.

Además, a partir de un marcador impreso en una de las páginas, es posible acceder a información adicional mediante gráficos 3D, que muestran figuras virtuales que aparecen sobre las páginas del libro y que se visionan a través de la pantalla de un simple ordenador con webcam. Como se ha citado anteriormente, uno de los casos más significativos, al constituir una de los primeros ensayos, fue desarrollado por el *Human Interface Technology Laboratory* de la Universidad de Washington, que presentó el denominado *Magic Book*, una de las aplicaciones más conocidas de la Realidad Aumentada en la educación. Mostraba el valor didáctico de esta tecnología y el gran atractivo que supone en contextos educativos.

3.3.4 El lienzo digital: sobre el funcionamiento de los software

Los objetos que encontramos en nuestro entorno tienen unas dimensiones regulares que se pueden recrear en imágenes generadas por ordenador, gracias a la combinación de datos y algoritmos matemáticos.

Las formas y la geometría de una imagen tridimensional se generan gracias a los procesadores gráficos y se han conseguido materializar en el mundo visual, mejorando la productividad en todas las disciplinas al permitir expresar y comunicar todo tipo de información a través de programas de edición.

Un *software* pionero de diseño convencional es el creado por la empresa *Control Data Corporation CDC* en 1960, que vendió su primer ejemplar a la Marina de los Estados Unidos. Dos años más tarde, el equipo de ingenieros de la CDC creó el ordenador más potente de la época, que tenía una CPU de 60 bits y usaba 10 procesadores externos, lo que la convertía en una máquina muy rápida, llegando a renderizar un modelo de diseño en un minuto.

En 1982 John Walker, CEO de una pequeña empresa de *software* llamada *Autodesk*,

escribió un comunicado a sus empleados describiendo una nueva propuesta de futuro. Se trataba de un procesador de textos para crear planos arquitectónicos en ordenadores personales nombrado entonces *Micro CAD*, aunque actualmente es conocido como *AutoCAD*.

En la década de 1980, grandes empresas como Microsoft, Apple, y Autodesk apostaron por el desarrollo de los microordenadores de bajo coste. Esta revolución consiguió impulsar la generación de nuevos *software* y perfeccionar las herramientas de diseño de los programas ya existentes.

Este panorama ayudó a muchos diseñadores profesionales e ingenieros a crear modelos tridimensionales

En la actualidad, además de la empresa Autodesk, existen multitud de compañías que han desarrollado *software*, por lo que contamos con una amplia variedad de herramientas para la creación de modelos bi y tridimensionales.

La finalidad principal de un *software* de diseño es capturar la esencia geométrica del mundo físico para codificarla en unidades binarias discretas, quedando así representada en un archivo digital.

Cada vez que el usuario realiza una modificación en el modelo tridimensional, el ordenador realiza una serie de cálculos para ajustar sus coordenadas x, y y z, por tanto la información queda registrada con gran exactitud. Todas estas modificaciones quedan registradas en el archivo, lo que permite al usuario crear infinidad de diseños, y volver después a la versión deseada.

El hecho de que un diseño tridimensional pueda heredar multitud de características, más de los que podría recordar un ser humano, representa una gran ventaja para los diseñadores profesionales e ingenieros, ya que posibilita experimentar con el modelo sin que tengan que volver a partir desde cero.

Existen dos categorías de *software* de diseño: *modelado de solido* y *modelo de superficies*.

El *software* de *modelado de sólidos* surgió del diseño y el desarrollo de los procesadores en la década de 1990, y desde entonces las empresas han optimizado los métodos de trabajo en la manufactura, mejorando la comunicación entre ellas.

Generalmente, estos *software* llevan incorporado una biblioteca que contiene formas de base y piezas de maquinaria, lo que permite al usuario combinar y personalizar. Para buscar estos modelos 3D se suele emplear un vocabulario técnico que normalmente es muy reconocible en los talleres de maquinaria, con palabras como extruir, taladrar, o biselar.

El *software* de *modelado de superficies* representa los modelos en formas geométricas poligonales, como si se tratase de una malla de superficie triangular, de ahí que a veces se denomine “modelado poligonal”.

Un aspecto a tener en cuenta es que las mallas poligonales no representan de forma exacta a aquellos objetos que tengan superficies curvas, que normalmente se muestran en baja calidad. Para evitar este contratiempo es necesario aumentar el número de puntos, aristas y facetas.

Se trata de un método de representación conocido como *subdivisión de superficies*, el cual es capaz de suavizar y refinar una superficie, a partir de una malla poligonal más sencilla. Como vemos en la imagen, conforme se va aplicando los sucesivos niveles de subdivisión, se va incrementando el número de vértices y polígonos en la malla y, aunque en todo momento la geometría que está controlando el conjunto, sigue siendo nuestro cubo inicial.

Para modelar los objetos se trata de construir estos polígonos conectados entre sí o mover cualquiera de sus vértices, de esta manera se modificará el aspecto de la geometría subdividida resultante.

A continuación, se mostrará como tres objetos iguales donde han sido modelados con tres sistemas diferentes. Esto nos permitirá distinguir y comparar las distintas técnicas, obteniendo un mismo resultado en cuanto a la superficie del objeto.

A. Proceso de modelado NURBS

Una superficie NURBS (*Non-Uniform Rational B-Splines*, *B-Splines*, en español

racionales no uniformes).

Es una suave malla definida por una serie de *splines* conectadas, que representan curvas poligonales. Esta superficie suave se convierte a polígonos en el momento de realizar el *render*, por lo que las superficies NURBS tienen un número arbitrario de polígonos. Además, su geometría predeterminada es suave y no necesita subdividirse para conseguir una superficie suave.

Podemos proceder a generar las distintas superficies y sólidos de partida mediante sencillas operaciones de extrusión. Una vez que tenemos los “objetos iniciales” procedemos a aplicar una serie de operaciones booleanas (*split*, *union*, *exclusion*, etc). A continuación aplicamos diferentes *blends* para obtener las principales zonas en curva de nuestro objeto y añadimos los detalles finales, redondeando todas las aristas para que no haya ninguna superficie “cortante”. Y finalmente realizamos el *render* para comprobar la suavidad de las formas.

B. Proceso de modelado poligonal clásico (Hard surface modeling)

Los polígonos, también denominados *polis* o *caras*, son formas geométricas que consisten en un determinado número de puntos que definen la superficie de un objeto tridimensional.

Un polígono se puede componer de tres ejes (triángulo o *tris*) o pueden ser de cuatro (*quads*). Si los polígonos superan los 4 puntos, *n-gons*. Este término denota un polígono de *n* caras, donde *n* es el número de lados del polígono. Por ejemplo, uno con 6 caras es un *6-gon*.

Como vemos empezamos con unas formas base de partida, con curvaturas en las esquinas (aunque prioritariamente se han realizado los lados curvos para evitar problemas a posteriori. Normalmente los polígonos muchos problemas en las formas redondeadas, si los comparamos con el método NURB).

Se extruye la geometría inicial, donde podemos distinguir claramente los polígonos.

A continuación, se decide la resolución o el nivel de detalle que le podemos dar a todas las superficies curvas.

Aplicamos en las curvaturas con un radio bastante amplio, en este caso en 16 pasos (esta es la gran diferencia con los NURBS). Y finalmente se añade las curvaturas finales, con menos radio, para rematar las esquinas cortantes. En este caso se ha empleado sólo 4 pasos y luego se ha aplicado un *bevel* de un solo paso hacia el interior, para que

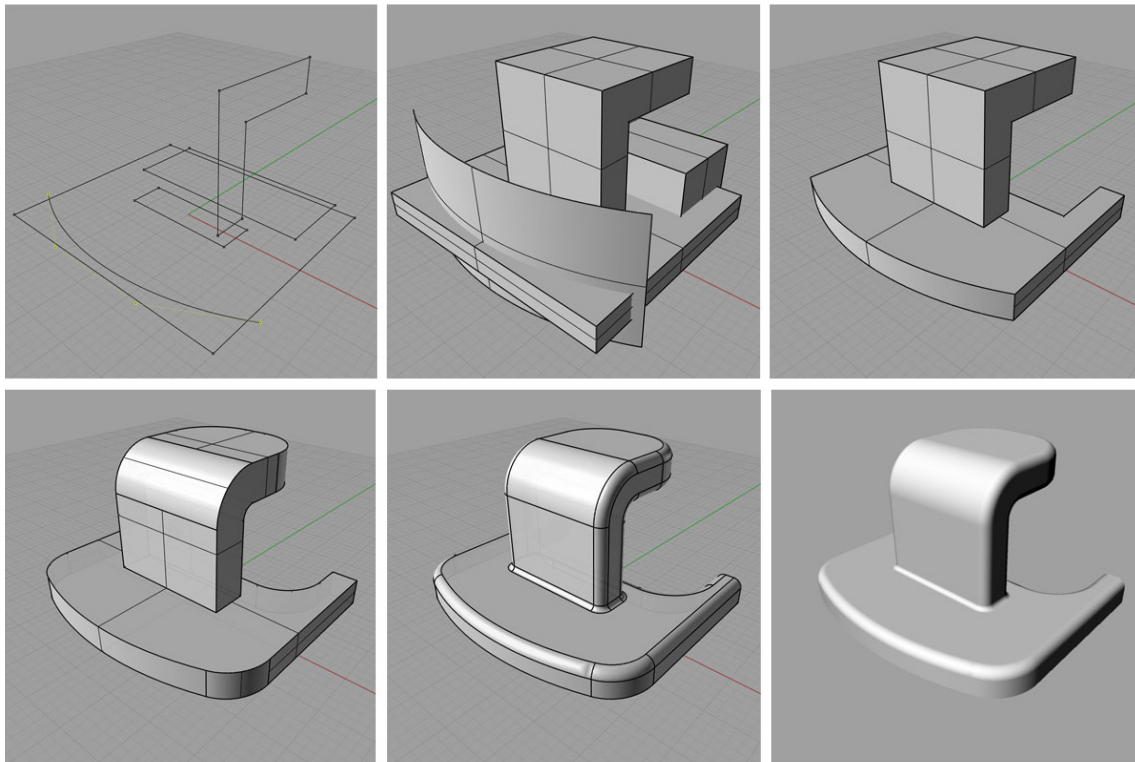


Fig. 59 Proceso de modelado Nurbs.

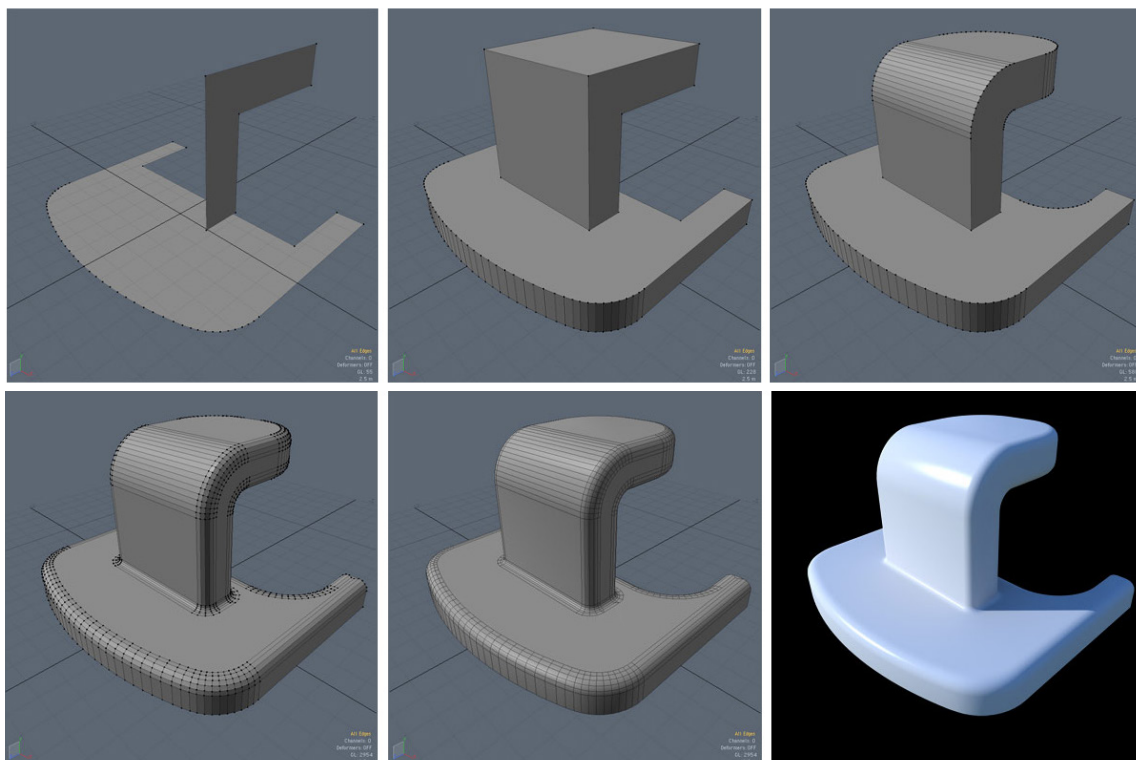


Fig. 60 Proceso de modelado poligonal.

no aparezcan artifacts en el shading de la superficie.

En el modelado poligonal se hace imprescindible el smoothing, para suavizar las superficies, así evitamos incrementar el número de polígonos necesarios en las superficies curvas. Y por último el render final.

C. Proceso de modelado por subdivisión de superficies.

Una *superficie de subdivisión* (SubD) es un algoritmo de refinamiento que crea una curva suave a partir de una malla poligonal, también denominada malla de base.

Esta malla de base crea una superficie suave utilizando los vértices originales y los puntos de control.

El número de polígonos y subdivisiones que se generan se pueden ajustar a un nivel de densidad variable. De esta manera, pueden crearse la suavidad de los contornos de una forma rápida y sencilla.

En este caso para la base de nuestra pieza partimos de una forma cúbica. A partir de ahí comenzamos a añadir una serie de *loops* con la herramienta *slice*. Mediante esta cuadrícula de la superficie se preparan unos polígonos que servirán para la siguiente operación: extruir hacia arriba los polígonos en naranja y hacia el fondo el azul. Se trata de ir creando un armazón básico, de modo que al subdividir y al extruir los polígonos nos acerquemos a la forma deseada.

Seguimos añadiendo detalle, mediante sucesivas operaciones de *slice* (vemos cómo nos vamos acercando al objeto final).

Ahora es necesario añadir unos *edges* extra que permitan controlar la tensión en determinadas zonas y definir sus redondeos. Aplicamos varios *bevels*, pero con muy pocas caras.

Al aplicar la subdivisión, con el *smooth* de superficies activado, se puede comprobar cómo las curvaturas del objeto van cogiendo la suavidad. Y realizamos el render de la imagen.

En este caso, podemos comprobar que es importante mantener el flujo ordenado y consistente entre todas las líneas de la geometría. Esto beneficiará para introducir deformaciones o alteraciones sobre la pieza, algo que es bastante difícil de obtener con los otros sistemas.

En realidad podemos modelar casi cualquier objeto con cualquiera de estos 3 métodos, pero es evidente que según la geometría del objeto, resultan más sencillo emplear unos sistemas que otros.

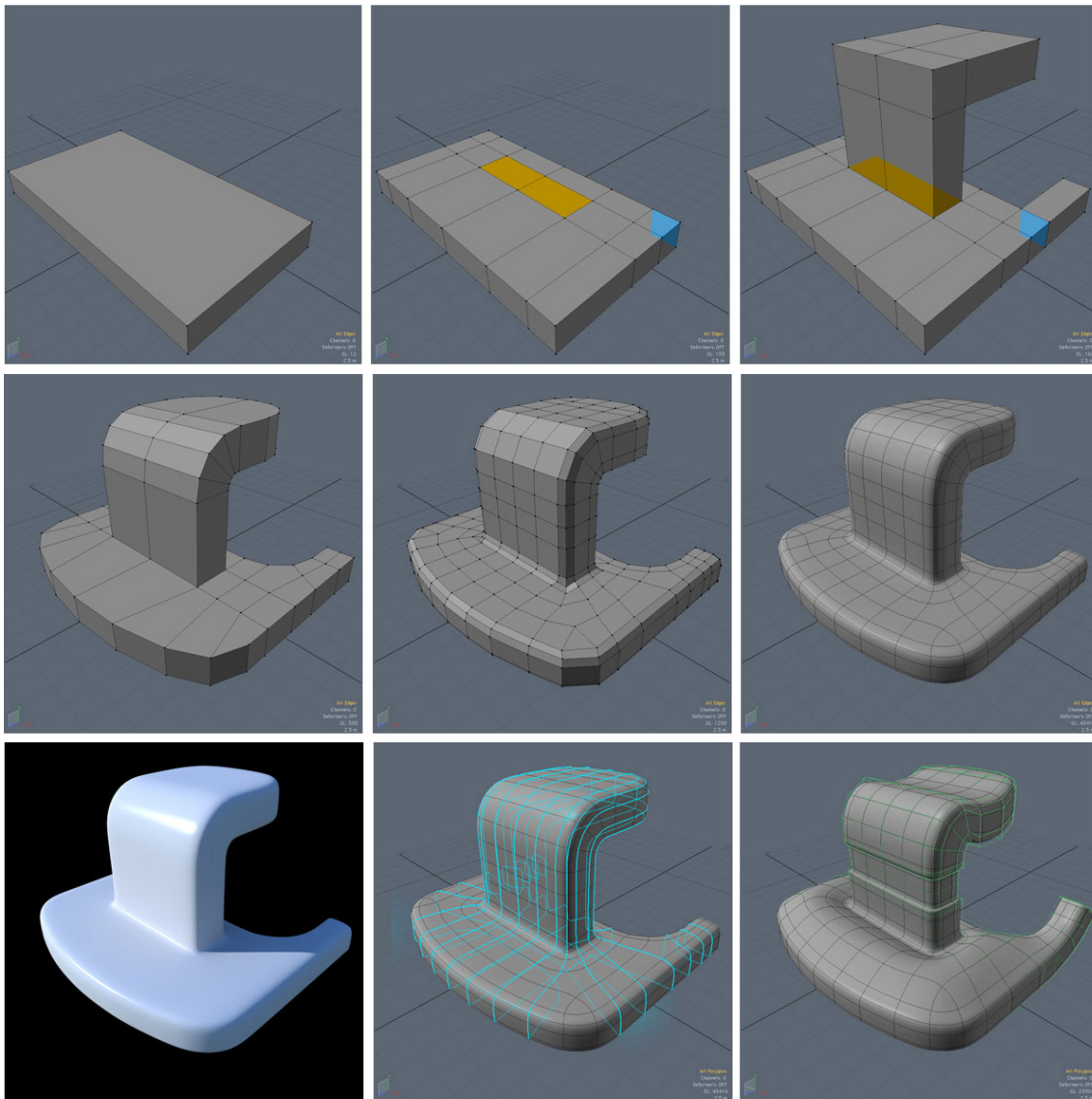


Fig. 61 Proceso de modelado por Subdivisión de superficies.

El modelado no deja de ser una representación matemática de un objeto, superficie o escena en 3d. Una vez creado, se puede mostrar como imagen 2d a partir de un renderizado, o bien crearlo físicamente con impresión 3d. Al estar más centrado en los detalles de la superficie, puede insertar detalles como brillos, texturas, pieles y cabellos realistas o elementos de la naturaleza, aunque para visualizar rápidamente todos estos detalles complejos requieren de un motor de renderizado especializado, el cual es capaz de realizar complejos cálculos para generar la imagen.

Normalmente el acabado final de un renderizado no puede ser visualizado en tiempo real, suele aparecer en una ventana adicional, construyendo la escena 3D por áreas. El tiempo de render depende en gran medida de los parámetros establecidos en los materiales y luces, así como en la configuración del mismo motor.

Dentro de esta etapa de renderizado distinguimos dos modelos de reflexión y sombreado que son usados para describir el aspecto de una superficie. Estos son:

- **Modelos de reflexión.** Describen cómo la luz interactúa con la superficie en un determinado punto.
- **Modelos de sombreado.** Describen cómo las propiedades de los materiales varían a lo largo de la superficie.

Cada aplicación o programa suele contar con su propio motor de renderizado, pero cabe aclarar que existen plugins capaces de realizar cálculos dentro del programa utilizando unas fórmulas especiales, o bien **granjas de render**, en inglés render farm, donde el trabajo está dividido entre varios ordenadores para que el tiempo de render sea menor.

Este último es una práctica muy conocida en la industria del cine para renderizar los fotogramas de una película de animación o con efectos especiales.

En el caso de los videojuegos, antiguamente se utilizaban imágenes pre-renderizadas para generar las texturas y así ayudar al equipo a trabajar en el entorno virtual. Es decir,

en lugar de que la consola haga cálculos mientras juegas, primero se renderizaban las texturas, los brillos, las sombras, las manchas o los reflejos para luego aplicarlas sobre los objetos como imagen. De esta manera se gana fluidez en los gráficos, al no tener que realizarse durante el juego cálculos de iluminación, reflexión, refracción, etc.

Aunque actualmente los usuarios de este sector suelen emplear plugins muy avanzados para procesar imágenes 3D en tiempo real, hay que aclarar que esto sólo es posible utilizando equipos informáticos muy sofisticados, gracias al **acelerador de gráficos** que llevan integrados en la placa base o bien en una consola mientras estas jugando. Esto permite que el movimiento de la cámara sea más realista en el juego. Generalmente la mayoría de los programas de diseño modernos pueden trabajar con ambas funciones, modelar sólidos en un modelo de superficie generando una malla en un mismo espacio tridimensional. Los programas más conocidos en la actualidad son Cinema 4D, 3DMax, Maya, Blender, SolidWorks, etc.

El principal objetivo es renderizar escenas más realistas. Existen gran cantidad de algoritmos, desde los más básicos hasta los más avanzados, como trazado de rayos (*ray tracing*) o renderizado de radiosity.

También hay que tener en cuenta que la síntesis de gráficos en tiempo real ha sido posible gracias al aumento de potencia de los procesadores gráficos, encargados de calcular un gran volumen de datos de las imágenes y así conseguir el movimiento fluido de las secuencias.

Otras ventajas para aumentar el nivel de detalle y realismo de una imagen, es a través del **mapeado de texturas**. Edwin Catmull (1974) desarrolló la técnica de la transformación de textura, conocido en inglés como *texture mapping*, para modular los valores de color, modificar las texturas superiores o bien añadir detalles a una superficie de un modelo 3D. Este método permite reducir significativamente el número de polígonos necesarios para una escena, y por tanto, permite incrementar la frecuencia de refresco de la imagen.

Para comprender su funcionamiento, es necesario entender que la textura (imagen bidimensional) se aplica a la zona exterior de la figura o polígono, como si se tratáramos

de envolver papel de regalo a una caja blanca. Al centrarnos en una descripción técnica de dicho funcionamiento, es necesario puntualizar que cada punto de la superficie del objeto (x,y,z) se transfiere a un *téxel* (s, t) , conocido como “punto de la imagen”, o bien como “píxel de la textura”, siguiendo un cuadrilátero en el espacio de las coordenadas de textura (u, v) . Se calcula entonces el valor del píxel sumando todos los texels que se encuentran dentro del cuadrilátero. En el caso significativo de un objeto con superficies poligonales planas, se suele asignar directamente las coordenadas (u, v) a los vértices del polígono.

3.3.5 Arquitectura gráfica: lenguajes informáticos en la geometría de los objetos

El filósofo alemán Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) ya hablaba sobre un lenguaje universal que “pintase los pensamientos”.

Actualmente, lo que conocemos es el hipertexto, que fue concebido como modo de trabajo computacional en 1945, y hasta hoy gran parte de las cosas que nos rodean han sido previamente diseñadas en archivos digitales. La principal operación para dibujar o representar una escena determinada consiste en conocer las características principales para definir su geometría. Para ello hay que aproximar la forma de los objetos a base de puntos distribuidos sobre su superficie, agrupándolos en facetas planas, interconectadas entre sí formando una malla. El resultado será un poliedro con multitud de caras que el ordenador dibujará posteriormente de forma que se suavicen las transiciones entre facetas.

Este tipo de representación se conoce como mallado o *mesh*, y es la mas habitual cuando se quiere que el procesador gráfico dibuje objetos complejos de forma rápida. Generalmente se usa esta aplicación para entornos interactivos, y permite que el usuario interaccione con imágenes fidedignas en tiempo real.

Existe una gran variedad de representaciones gráficas, desde las que se integran en las impresoras 3D, formadas en un archivo STL, a la creación de grandes producciones filmatográficas.

¿Cómo se formaliza un modelo 3D en nuestra pantalla?

El cauce gráfico es el conjunto de procesos y transformaciones que se realiza a los elementos de un modelo 3d llevando a producir un render para obtener finalmente una imagen 2d (una imagen plana tipo Tiff, jpg, png o cualquiera que sea su formato).

Estos procesos han tenido su evolución desde los primeros tiempos hasta hoy. Hoy se caracterizan porque en lugar de realizarlos la **CPU**, que es el procesador normal del ordenador, las realiza la **GPU**, que es un procesador adicional especializado en gráficos. Este procesador, al estar especializado en ello, hace que los cálculos sean más rápidos y libera a la CPU para que pueda realizar otros cálculos.

La GPU principalmente está diseñada para realizar multitud de cálculos en paralelo, realizando las tareas en un orden fijo, de manera que los datos fluyan en su interior (esto quiere decir que no tiene que esperar a que terminen todos los cálculos de un proceso para empezar con el siguiente proceso, sino que puede realizar varios a la vez según vayan saliendo poco a poco los datos del proceso anterior.)

Normalmente, se define por el modelado y la representación basada en la geometría de los objetos que conforman los escenarios tridimensionales.

La aplicación gráfica envía a la GPU una secuencia de vértices en forma de primitivas geométricas: por lo general, polígonos, líneas y puntos, las cuales permiten describir y sintetizar la geometría de la escena 3D.

La lista de vértices y sus atributos, los valores iniciales, las operaciones realizadas y las texturas aplicadas se describen en la capa *software* mediante un programa convencional que incluye una serie de llamadas a una interfaz de programación de aplicaciones, conocida en su forma abreviada como API, del inglés *Application Programming Interface*, que consiste en proporcionar un conjunto de funciones de uso general, por ejemplo, para dibujar iconos en la pantalla del ordenador.

OpenGL es una especificación estándar que define una API multilenguaje y multiplataforma para escribir aplicaciones que produzcan y consuman gráficos en 2D y 3D [SHR 05, SHR 00]. Esta interfaz dispone de más de 250 funciones definidas.

La CPU ejecuta el programa y como resultado de las llamadas a cualquiera de estas

API, se colocan las texturas en la memoria de vídeo y se envía el microcódigo que programa a la GPU.

Después, el procesador gráfico recibe la lista de vértices y ejecuta sobre el flujo de datos la secuencia de operaciones para la generación de las imágenes.

Tabla 14. Secuencia de operaciones realizadas por la CPU para generar vértices.

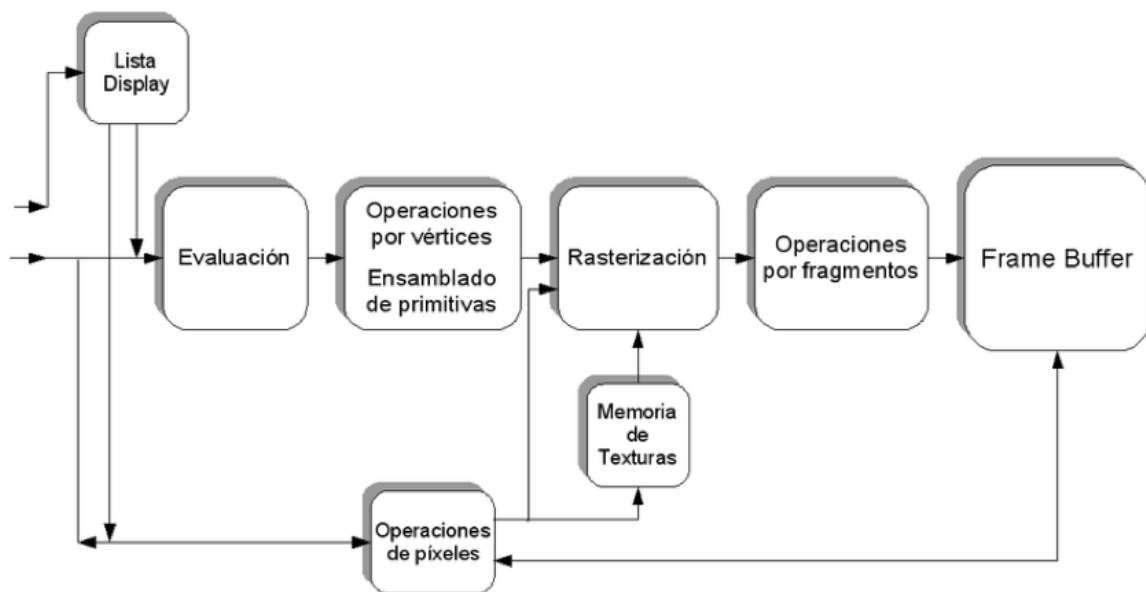


Fig. 62 Secuencia de operaciones realizadas por la CPU para generar vértices.

3.3.5 Análisis sobre la evolución del *software*

La flexibilidad que permite la programación, ha hecho que multitud de técnicas digitales sean empleadas para la construcción de imágenes. Aunque el control de estas sofisticadas, y al mismo tiempo, complejas herramientas no sólo pueden determinar el refinamiento de una imagen, sino que además pueden ampliar los recursos expresivos, gráficos y visuales. (Rivero Rivero, A. 1997: p.54)

En las dos últimas décadas, el desarrollo del CGI (*Computer-generated imagery*, término en español *imágenes generadas en ordenador*) en 3D, ha supuesto una esclarecida evolución en los sistemas de representación visual.

Durante este tiempo, se han analizado la división de varias etapas, de las que se sintetizan en el siguiente esquema:

En los años 60. El diseño de modelos digitales comienza en representaciones de imágenes vectorial sobre pantallas de tubos de rayos catódicos.

Durante este periodo, tanto el *hardware* como el *software* sólo estaban al alcance de los laboratorios, empresas privadas y grupos de investigación. Por tanto, eran muy pocos los que estaban cualificados para su manejo y se buscaban principalmente aplicaciones de uso militar y aeroespacial. (Rivero Rivero, A. 1997: pp.67-68).

En los años 70. La tecnología de los ordenadores comenzaron a extenderse a nivel comercial. Concretamente, se utilizaban para la creación de gráficos para cabeceras de la televisión, en openings de películas, que usualmente eran escasas y de alto presupuesto, y en logos de anuncios publicitarios.

A finales de esta década y principios de los 80, se da el salto al *pixel*, donde la imagen digitalizada está formada por una cuadrícula de píxeles (*mapa de bits*, en inglés *bitmap*) y paralelamente, aparece el ordenador personal que ayudó a ampliar sus horizontes (APPLE II, IBM PC, Xerox Star 810, Toshiba T1100, etc).

En los años 80. Se considera como la década de la implantación y de la expansión de la tecnología informática. Existe una verdadera conciencia de las posibilidades que pueden abarcar estas técnicas. En este momento, se crean los programas de edición, con recursos centrados en la simulación de técnicas tradicionales como el lápiz, el pincel, el aerógrafo o la pintura interactiva. En este sentido, se toma un nuevo concepto de la herramienta en los procedimientos de creación gráfica y audiovisual. Seguidamente se desarrollan nuevas aplicaciones que enriquecen la expresión visual, como las operaciones de *Morphing*, de clonación, de selección, filtros, máscaras, múltiples ajustes de correcciones, etc.

La industria cinematográfica y la televisión fueron los principales interesados en el desarrollo de las tecnologías digitales. Lo que ayudó a que los programas comenzaran a orientarse en la construcción de modelos tridimensionales y entornos virtuales. Por tanto, se realiza un estudio exhaustivo de los algoritmos para la interpolación de modelos fotorealistas, el movimiento y la iluminación ambiental. Todo este paradigma, afecta directamente a los procesos de producción en la industria y comienzan a tener un mayor protagonismo en diferentes sectores.

En los años 90. A partir de este momento, aumentan los *software* comerciales y se crean oficios independientes. A medida que va pasando el tiempo los *software* son cada vez más sofisticados. El aumento de las funciones y recursos hizo que las interfaces se sintetizaran para que fueran mas accesibles e intuitivas. Durante este periodo se percibe una clara progresión en las herramientas de los *software*. Estos han permitido perfeccionar el nivel de los acabados: superficies pulidas, cuidado en el tratamiento de color (degradados), efectos de iluminación (brillos, refracción y reflexión de la luz), efectos de sustancias líquidas y metálicas, etc).

En el año 2000. Constituye la década de la experimentación visual y de la búsqueda de nuevos efectos fotográficos. Aunque ya se comenzaban a emplear con anterioridad, se perfeccionan los programas de videoedición y postproducción para conseguir un mayor grado de realismo en las secuencias finales.

Los programas de postproducción que controlan las cámaras de vídeo por ordenador, permiten la integración de las imágenes digitales, que han sido previamente diseñadas con un *software*. De esta manera, se puede sustituir algunas de las técnicas tradicionales como es el caso de los decorados y elementos escénicos (maderas, pinturas, moldes) que pueden ser reemplazados por espacios virtuales.

Estos programas de postproducción además de capturar el volumen y reproducir las imágenes digitales en tiempo real, pueden capturar el movimiento natural de los actores. Esto crea un punto decisivo en la historia de la imagen digital, ya que los mismos actores pueden ser sustituidos por un avatar.

Por otro lado, las grandes empresas del sector audiovisual empiezan a interesarse por las investigaciones de la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada, con la posibilidad de perfeccionar los dispositivos visuales (HMDs o *Head Mounted Display*) basadas en la visión estereoscópica para uso comercial, junto con los dispositivos hápticos.

Los *software* de estos dispositivos pueden generar imágenes en alta resolución y nitidez en tiempo real sobre una pantalla. Además tiene un sensor externo que detecta la posición del usuario para que la imagen se reajuste a sus movimientos.

En nuestros días. La perfección técnica es primordial. Ante nosotros disponemos de una gran variedad de técnicas para potenciar el tratamiento de la imagen digital.

Con la comercialización de los cascos inmersivos de Realidad Virtual se intensifica el estudio en la interactividad, las experiencias multisensoriales y la comunicación.

En las siguientes tablas se ha realizado un cronograma en el que se especifica por fechas los diferentes *softwares* existentes.

FECHA DE LANZAMIENTO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1955	SAGE (Semi Automatic Ground Environment)	El Lincoln Laboratory del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) desarrolla el primer sistema gráfico de las Fuerzas Aéreas Norteamericanas (US Air Forces). Este procesaba datos de radar y otras informaciones de localizaciones de objetos mostrándolos a través de una pantalla CRT (Tubo de rayos catódicos).
1960	ITEK conocido como EDM (Electronic Drafting Machine)	Utilizaba una pantalla vectorial con memoria de refresco en disco duro, un ordenador PDP-1 de Digital Equipment Corp. y una tableta con un lápiz electrónico para introducir los datos.
1962	Sketchpad	Ivan Sutherland desarrolla un sistema basado en su propia tesis doctoral "A Machines Graphics Communications System". Hacía posible el trazado de líneas en tiempo real, permitiendo que el usuario interactuara con la pantalla del ordenador por medio de un lápiz óptico.
1964	DAC-1	Desarrollado por IBM & General Motors.
	Type 30	Desarrollado por la empresa Digital Equipment.
1965	CAD (Computer-aided design o dibujo y diseño asistido por ordenador, CADD)	Se comercializa el primer CAD. Utiliza gráficos basados en vectores para representar objetos de forma bidimensional.
1969	Hidden-line algorithms	La revista Communications of the ACM (Vol. 12, Issue 4, Abril. pp 206-211) publica que los Hidden-line algorithms provoca la eliminación de líneas ocultas en la representación de una vista en perspectiva y vistas convexas de los objetos cóncavos en el plano de imagen.
1969	Video Art (AVA) graphics system	Desarrollado por la empresa norteamericana Ampex (1944), su nombre deriva del nombre del fundador y significa Alexander M. Poniatoff Excellence. Es un sistema de pintura electrónica. Leer artículo CBS Coverage Inaugurates Graphics System de Computerworld. Noviembre de 1980.
1975	Quantel DFS 3000	Software que sobrepone imágenes PiP. Utilizada para la transmisión televisiva.
1980	AutoCAD, derivado del CAD	Fue diseñado por Autodesk para funcionar en las plataformas de microcomputadoras de la época incluyendo computadoras de 8 bits que ejecutaban el sistema operativo CP/M y dos de los entonces nuevos sistemas operativos de 16 bits como Victor 9000 y la IBM PC.
1981	Paintbox	Lanzado por la Empresa Quantel. Sistema de animación, diseñado para la creación y composición de contenidos gráficos y de vídeo. IBM presenta el primer ordenador personal (personal computer, PC) con Sistema Operativo de Disco Microsoft (MS-DOS).
1982	Super Foonly F1	Information International Inc. (comúnmente conocida como Triple-I o III). Es un ordenador capaz de animar modelos sólidos.

Fig. 63 Cronograma de la evolución del software.

FECHA DE LANZAMIENTO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1982	Bosch FGS-4000	Es un ordenador capaz de animar modelos sólidos, con una paleta completa de colores y con total movimiento de cámara y punto de vista, ejecutándolo todo en tiempo real.
	Autodesk Inc	Son herramientas destinadas para ingenieros y diseñadores y se utiliza de muchas maneras dependiendo de la profesión del usuario y del tipo de software en cuestión. Los programas de CAD se utilizan en muchas aplicaciones, como la automoción, la construcción naval, las industrias aeroespaciales, el diseño industrial y en la arquitectura.
1984	Integrated Raster Imaging System	Lanzado por la empresa <i>Silicon Graphics, Inc</i> (SGI).
	Apple Macintosh	Se lanza el ordenador personal <i>Apple Macintosh</i> .
1986	Pixar Image Computer	Creada por <i>Graphics Group</i> (nombrada posteriormente como <i>Pixar Animation Studios</i>).
1987	RenderMan	En la conferencia de SIGGRAPH, Robert Cook, Loren Carpenter y Edwin Catmull presentaron un informe llamado <i>The Reyes Rendering Architecture</i> .
1990	CINEMA 4D	Desarrollado por <i>MAXON Computer GmbH</i> para <i>Microsoft Windows</i> , <i>Macintosh</i> y <i>AmigaOS</i> .
	Autodesk 3Ds Max	Software para modelado y animación 3D. Muy empleado, para juegos, cine y televisión.
	LightWave 3D	Es un software de gráficos 3D desarrollado por <i>NewTek</i> . Se ha utilizado en películas, televisión, gráficos en movimiento, pintura mate digital, efectos visuales, desarrollo de videojuegos, diseño de producto, visualizaciones arquitectónicas, producción virtual, videos musicales, pre-visualizaciones y publicidad.
1991	Pov-ray (<i>Persistence of Vision Ray Tracer</i>)	Desarrollado por <i>The POV-Team</i> . Es un software de código abierto. Originalmente se basó en <i>DKBTrace</i> , escrito por <i>David Kirk Buck</i> y <i>Aaron A. Collins</i> para las computadoras <i>Amiga</i> .
1995	Blender	Software de código libre creado por <i>Fundación Blender</i> , dedicado especialmente al modelado, iluminación, renderizado, animación y creación de gráficos tridimensionales.
1996	Houdini	Software de animación 3D considerado para profesionales desarrollado por <i>Side Effects Software</i> con sede en Toronto.

Fig. 64 Cronograma de la evolución del software.

FECHA DE LANZAMIENTO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1998	Autodesk Maya	Programa con herramientas de modelado, y las mejoras en las texturas y los flujos de trabajo que aprovechan la tecnología de 64 bits multinúcleo. <i>Microsoft Windows, Linux y Macintosh.</i>
	Rhinoceros® o Rhino®	Proporciona las herramientas para modelar y documentar sus proyectos de diseño con precisión y dejarlos listos para el renderizado, la animación, el dibujo, la ingeniería, el análisis y la fabricación o construcción. Desarrollado por <i>Robert McNeel & Associates</i> ; Una empresa estadounidense de propiedad privada, para <i>Microsoft Windows y Macintosh.</i>
1999	Zbrush	Fue desarrollada por <i>Pixologic</i> para <i>Microsoft Windows y Macintosh.</i> es un software de modelado 3d, escultura y pintura digital. El concepto de esculpir pintando sobre un objeto 3d.
	Apple Macintosh	Se lanza el ordenador personal <i>Apple Macintosh.</i>
2000	Autodesk Revit	Software de Modelado de información de construcción (BIM, <i>Building Information Modeling</i>), para <i>Microsoft Windows</i> , desarrollado actualmente por <i>Charles River Software.</i>
	Autodesk Softimage	El paquete de animación 3D para la producción de juegos y efectos visuales que ofrece a los profesionales del 3D la potencia y flexibilidad necesaria para dar vida a las visiones creativas con más rapidez y rentabilidad.
2003	Cheetah 3D	Desarrollado por <i>Dr. Martin Wangenmayer.</i> Es un programa de modelado 3D, animación y renderizado. Está escrito en <i>Cocoa* (API)</i> para el sistema operativo <i>MacOS.</i> El programa está dirigido a artistas principiantes y aficionados en 3D.
2007	Nuke	Es un software de composición digital producido y distribuido por <i>The Foundry.</i> Se utiliza para la post-producción en el cine y la televisión. <i>Linux, Microsoft Windows y Macintosh.</i>
2009	Autodesk ImageModeler TM	Software de fotogrametría y modelado basado en imágenes para crear objetos 3D fotorrealísticos y medidas 3D precisas.
2010	Autodesk Mudbox	Fue creado por <i>Skymatter</i> , fundado por <i>Tibor Madjar, David Cardwell y Andrew Camenisch.</i> Es un programa de escultura 3D para crear los modelos orgánicos más detallados, y se integra directamente con cualquier entorno virtual.
	Kinect	Software de código libre creado por <i>Fundación Blender</i> , dedicado especialmente al modelado, iluminación, renderizado, animación y creación de gráficos tridimensionales.
2013	Autodesk MotionBuilder	Conjunto de herramientas de productividad más destacado para la animación de personajes 3D, con herramientas en tiempo real que permiten realizar proyectos de animación de gran envergadura.

Fig. 65 Cronograma de la evolución del software.

3.4. Del elemento gráfico virtual a la producción 3D

3.4.1. Prolegómenos a las impresoras 3D domésticas

El nombre formal de la impresión en 3D en la industria es *manufactura aditiva*. La palabra “Aditivo” hace referencia al hecho de que los métodos de impresión en 3D fabrican objetos depositando o vertiendo materia prima en capas para dar forma a un objeto sólido tridimensional. Y la palabra “Manufactura” hace referencia al hecho de que las impresoras 3D crean estas capas conforme a algún tipo de proceso sistemático predecible y repetido. (“*La Revolución de la Impresión 3D*”, Lipson H. y Kurman M., Pag. 93)

La primera impresora 3D fue inventada por Chuck Hull (1939) en 1984. Descubrió esta técnica mientras trabajaba como ingeniero para la fabricación de prototipos⁸⁷. Un día, mientras practicaba con materiales fotopolímeros⁸⁸ para endurecer la superficie de los objetos, se dio cuenta de que con los rayos ultravioleta podría dibujar capa a capa en la superficie del fotopolímero.

Dos años más tarde fundó la empresa *3D Systems* en California y desarrolló la primera impresora comercial, basada en la estereolitografía (SL), así como el formato de archivo STL para describir la geometría del objeto tridimensional cuando es enviado a la impresora.

En consecuencia a este descubrimiento, durante la década de los 90, se encendió la imaginación de los ingenieros y las industrias desarrollaron nuevos métodos de impresión, como la impresión por deposición de material fundido o FDM y la

87. Las empresas o industrias necesitaban verificar un diseño antes de la fabricación en cadena. De esta manera, al disponer del prototipo o maqueta, se anticipaban a los problemas de diseño, las cuestiones productivas o bien comprobar el funcionamiento del producto.

88. Nombre genérico de una mezcla de materiales que pueden cambiar sus propiedades físicas al ser expuestos a una radiación.

impresión por láser o SLS. Esto significó un avance en la fabricación convencional⁸⁹, mejorando el proceso productivo y la rentabilidad de los recursos materiales.

Mientras tanto Scott Crum, quien había concedido el método de impresión FDM, establece la empresa Stratasys para la comercialización de su invento.

La época de mayor esplendor han sido los últimos años, debido al desarrollo y refinamiento de las impresoras 3D, basados ambos en la tecnología de prototipado rápido concebida por Chuck Hull en 1988. Las primeras impresoras por inyección, fueron creadas por un grupo de estudiantes del MIT.

Por otro lado, gracias a las últimas innovaciones se ha encontrado una gran aplicabilidad de esta tecnología en la industria médica, en el sistema educativo e incluso en el sector aeroespacial.

Además, debido a la gran venta de las impresoras 3D se ha reducido el coste de las mismas, con lo cual el comercio minorista ha encontrado mayor accesibilidad a ellas. Los servicios de estos aparatos cubren campos tales como joyería, el calzado, la arquitectura o la automoción, entre otros.

En el año 2004 nace el proyecto Reprap, gracias a la idea de Adrian Bowyer, profesor en ingeniería mecánica de la Universidad de Bath, en el Reino Unido.

El nombre Reprap proviene de *Replicating Open Source*. Como indica su nombre, el diseño y la tecnología de impresión en este caso están basados en una alternativa de la propiedad intelectual⁹⁰ conocida como GPL, que permite a los usuarios trabajar en la misma idea y mejorarla sin ser restringidos.

El objetivo principal de este proyecto a largo plazo era que cada Reprap fuera capaz de fabricar sus propias piezas de repuesto, es decir que si un usuario quisiera crear

89. La producción tradicional requiere de una cantidad significativa de maquinaria y un número considerable de personal cualificado. Originariamente los métodos eran sustrativos, es decir generan formas a partir de la eliminación de exceso de material.

90. El motivo principal de la filosofía *Open Source*, es que las patentes frenan la creación y el ingenio de los propios usuarios. De esta manera cualquier desarrollo o mejora en el diseño, el *software* o la electrónica de la Reprap procede de la iniciativa de sus usuarios.

una nueva impresora Reprap, sólo tendría que imprimir sus piezas para ensamblarlas posteriormente⁹¹.

El grupo de ingenieros del Proyecto Reprap creció en poco tiempo y se creó la Reprap Foundation, Fundación Reprap. Gracias a la fundación se comenzaron a impartir talleres por todo el mundo⁹².

En Octubre del año 2009, se crea la segunda generación de impresoras Reprap conocidas como “Mendel”, gracias a la fabricación de circuitos impresos. Este nuevo modelo supuso un gran avance para la comunidad Reprap, pues se había conseguido la primera impresora 3D de código abierto capaz de auto-replicarse.

Los *software*, representan un potente sistema de control, por ello es importante destacar la evolución de los *software*, ya que no sólo forman parte del conjunto del equipo, sino que son un elemento indispensable para el proceso de fabricación.

En 2008 Zach Smith, uno de los fundadores de la empresa *Makerbot*, comenzó el desarrollo de *ReplicatorG*, un sencillo programa controlador para impresoras RepRap, de código abierto, cuyo objetivo era únicamente el envío de ficheros G-code a la máquina, sin más pretensiones.

La primera versión, la 0001, fue lanzada el 3 de septiembre de 2008, y las funcionalidades del *software* se ampliaban con cada nueva versión que era liberada. Una de las opciones incorporadas más destacadas fue su integración con el laminador *Skeinforge*.

Kliment ya era un desarrollador conocido por programar el firmware Sprinter, uno de los primeros firmwares serios para una electrónica RepRap, de código abierto y con múltiples opciones, cuando en 2011 comenzó a desarrollar un conjunto de

91. Las instrucciones y las piezas para crear una impresora Reprap están disponibles en la página web.

92. Uno de ellos fue impartido en el Medialab Prado de Madrid en Febrero de 2009, dirigido por Zach Smith, en el cual se construyó una impresora Reprap 1.0 Darwin, que podía imprimir una muestra de la mitad de sus partes.

herramientas de *software* al que denominó *Printrun*.

Las máquinas RepRap que se iban desarrollando utilizaban un *software* conocido como Pronterface, una completa interfaz gráfica de control de impresión.

El programa *Pronterface* podía preparar una bandeja de impresión con varios modelos, accediendo a la interfaz *Slic3r*⁹³ para laminarlos, enviando luego el *G-code*⁹⁴, el resultante a una tarjeta SD interna de la impresora y, finalmente, ordenar al *firmware* de la impresora para ejecutar la secuencia de acciones contenida en el fichero almacenado en la tarjeta SD, evitando así posibles problemas de comunicación por USB.

Al mismo tiempo, en el seno de una pequeña empresa holandesa llamada *Ultimaker*, comenzó el desarrollo de Cura, un *software* de control y laminación desarrollado en principio para sus propias máquinas, pero que sin embargo resultaba compatible con cualquier máquina RepRap.

Era un programa fácil de utilizar, con pocas opciones para no abrumar a nuevos usuarios. Integraba una versión más rápida del laminador Skeinforge, junto con una serie de herramientas básicas de control de la impresión.

Posteriormente, Cura comenzó a utilizar un laminador creado desde cero, *CuraEngine*, también de código abierto, en lugar de Skeinforge.

En el año 2012, mientras Makerbot se enfocaba en su nuevo *software* privado *MakerWare*, el cual abandonó *ReplicatorG*, surge otro nuevo programa llamado Repetier-Host, que comenzó a coger fuerza entre la comunidad de usuarios de máquinas RepRap. Este *software* de código abierto estaba desarrollado por la empresa alemana *Hot-World GmbH*, que desarrollaba en paralelo el *firmware* para impresoras 3D FFF llamado *Repetier-Firmware*. Presentaba un aspecto más profesional en estética y funcionalidades que cualquiera de los programas anteriores, y su interface

93. Slic3r es la herramienta que necesita para convertir un modelo 3D en las instrucciones de impresión para la impresora 3D. Se corta el modelo en rebanadas horizontales (capas), genera trayectorias para llenarlos y calcula la cantidad de material a extruir.

94. El Código G describe las instrucciones para el cabezal de impresión y es implementado en un *firmware* específico.

ha ido puliéndose a medida que se liberan nuevas versiones.

A medida de que las impresoras se van haciendo mas sofisticadas, las actualizaciones de los *software* no cesan. Tanto el *software* como la máquina impresora deben estar estrechamente unidos, ya que el rendimiento y resultado de ambos incide en las calidades de impresión.

3.4.2 Características que definen a una impresora 3D

Las impresoras 3D, por lo general, siguen las instrucciones de un *software de modelado*, donde previamente se ha diseñado el archivo digital, conocido como modelo 3D.

Una vez terminado el diseño, este archivo se exporta en un formato llamado STL, *STereo Lithography*, que comanda a la impresora para colocar la materia prima en capas, formando así el objeto tridimensional.

Cuando el archivo STL es leído por el *firmware* de la impresora, trocea el diseño digital en capas virtuales, las cuales representan las finas capas físicas que serán impresas. Cada impresora tiene su propio *software* para configurar las preferencias de impresión. Una vez cambiados los parámetros se envía el archivo STL a la impresora 3D para que ejecute la información recibida y se ponga en funcionamiento. Aquí lo que realmente sucede es que la información se envía como un bloque de instrucciones para que el *firmware* calcule la ruta mecánica y las acciones del cabezal de impresión. Cuando el *firmware* ya ha terminado de planificar la secuencia de operaciones, el cabezal comienza a moverse a lo largo de un conjunto de raíles horizontales y verticales que ayudan a depositar el material en el punto adecuado. Para depositar la primera capa, primero el cabezal dibujará el contorno del objeto, dejando la forma de la base. A continuación el cabezal comienza a rellenar el contorno moviéndose hacia delante y hacia atrás, creando así la primera capa.

El siguiente procedimiento es muy rutinario, la materia se deposita conforme a lo indicado por el archivo de diseño.

Las principales características que definen una impresora 3D son:

- La **resolución vertical Z** de capa es la altura de la capa de plástico. Se suele medir en micras. 1 micra o micrómetro (μm) = 1 milésima parte de milímetro. Podemos encontrar resoluciones desde los 100 μm en impresoras domésticas actuales.
- La **resolución horizontal XY**. Se suele referenciar por ppi, punto por pulgada, la cantidad de puntos en una pulgada.
- El **área de construcción** es el volumen total que es capaz de imprimir una impresora.
- Las dimensiones de la superficie de la plataforma son el factor determinante, ya que pueden limitar el tamaño de la pieza a construir.
- **Número de inyectores**. Si la máquina dispone de más de un cabezal.
- Aunque también hay otras maneras de combinar colores en un mismo modelo, haciendo las piezas por partes para ensambrarlas o pegarlas posteriormente o por capas, insertando un nuevo color en el filamento mientras va imprimiendo.
- **Velocidad de impresión**. Para las impresoras FDM se mide en mm/seg, y los valores podrían moverse entre 20 y 80 mm/seg.
- **Opciones de material**. Depende de la tecnología que se emplea. La mayoría de los fabricantes de impresoras 3D proporcionan su propio material.
- **Calibración**. Una de las operaciones que normalmente hay que realizar sobre una impresora 3D es calibrar su plataforma de impresión, para que la cabeza extrusora se desplace por toda su superficie a la misma distancia y depositar

así el plástico adecuadamente. Si la separación entre cabeza y plataforma es excesiva, las sucesivas capas de plástico no tendrán suficiente contacto, construyendo un objeto con rugosidades y, en casos extremos, fallando en la impresión al comenzar sobre la plataforma.

- Si nos pasamos acercando el cabezal a la plataforma, ésta rozará en exceso la superficie produciendo arañazos, entre otros problemas.
- Muchas de las impresoras 3D del mercado necesitan una **nivelación manual**: Generalmente ésta se realiza sobre tres puntos espaciados de la plataforma para asegurar la correcta calibración. Un método válido, y muy utilizado, es pasar una fina tarjeta entre la cabeza y la plataforma comprobando que hay el espacio justo.
- Algunas máquinas se ajustan a través de controles giratorios que suben y bajan la plataforma de forma mecánica. Otras llevan estos **ajustes automatizados** electrónicamente sobre su panel de control.
- **Formatos de archivo compatibles.** el *archivo STL* (Standard Tessellation Language, en español Lenguaje de mosaico estándar), es un formato estándar, creado para simplificar la transición de archivos de diseño a las incipientes impresoras 3D.

Su origen se remonta a la década de 1980, la época en la que las impresoras 3d se empleaban como una herramienta para generar prototipos. Los primeros archivos STL no tenían en cuenta algunos detalles físicos, (como el color de la pieza) limitados por la escasa memoria y procesamiento de los ordenadores.

Hoy en día el STL representa un factor limitador, ya que los *software* actuales ofrecen más posibilidades, trabajando con archivos de diseño que implican millones de coordenadas de posiciones. Además junto con los *software*, las impresoras 3D han mejorado con los años, acercándose a resoluciones de impresión de 1micrómetro.

El archivo que reemplazará el archivo STL, sobre todo en la fabricación aditiva, es el **formato AMF** (Additive Manufacturing Format), basado en XML. Este archivo, además de conservar la misma estructura malla del formato STL, tiene otras capacidades como trabajar en diferentes colores y materiales, e incide en la creación de entramados, entre otras estructuras internas, que pueden proporcionar un mayor detalle. Por ejemplo, puede utilizar triángulos curvos para describir superficies curvas con más precisión, a diferencia del STL, que empleaba triángulos planos y las formas curvas eran más toscas.

Otra forma de obtener una pieza impresa es mediante el uso de un escáner 3D, con el cual es posible capturar digitalmente la forma y las dimensiones de un objeto físico mediante un conjunto de coordenadas tridimensionales. El resultado es una capa superficial de puntos conocida como “*nube de puntos*”, donde cada punto contiene información de la posición en la que se encuentra en el espacio tridimensional. Una vez registrados esos datos se envían al ordenador, donde el programa realiza una serie de cálculos para convertir esa nube de puntos en una malla de superficie.

Es una tecnología muy eficiente, aunque presenta un inconveniente: únicamente puede capturar superficies, por lo que no puede registrar los huecos de un objeto. Sin embargo este inconveniente tiene fácil solución, ya que el usuario puede modificar sobre el archivo digital y pulir aquellas zonas que el escáner no ha sido capaz de registrar adecuadamente.

3.4.3 Familias de impresoras 3D

Principalmente existen dos familias:

Las **Impresoras de adición**, conocidas como técnica de modelado por deposición fundida o MDF, en inglés Fused Deposition Modeling FDM, que fueron desarrollada por Scott Crump entre 1989 y 1990; y las **Impresoras de compactación**, que como su nombre indica compactan las materia primas y son muy empleadas en el ámbito industrial. Dentro de esta categoría existen dos vertientes:

- Impresoras que pueden crear objetos tridimensionales utilizando un fotopolímero que se solidifica cuando se expone a la luz ultravioleta.
- Impresoras que trabajan con material en forma de polvo, mediante el uso de un adhesivo líquido o la exposición a los rayos láser.

Las impresoras de adición o MDF rocían, pulverizan o hacen pasar líquido, pasta o materia prima en polvo a través de algún tipo de cabezal o boquilla, solidificándose al llegar al área de impresión, depositando así la materia prima por capas.

Mediante la superposición de estas capas compuestas de material, el objeto se va construyendo tridimensionalmente en el espacio.

Estas impresoras 3D normalmente son aquellas que se emplean en los hogares, en las oficinas, o en las escuelas porque poseen un cabezal de impresión a una temperatura relativamente baja, comparado con las empresas de manufactura y diseño que normalmente emplean láseres de gran potencia o pistolas de calor que pueden ser demasiado peligrosas y frágiles de manipular.

Los materiales que emplean las impresoras de adición son muy variados, aunque sólo pueden ser óptimos aquellos que pueden ser pasados a través del cabezal. Se muestran en forma de tiras cuyo extremo se introduce directamente en la impresora.

Esto es algo que limita al uso de otros materiales como el metal o el vidrio fundido, que tienen que ser tratados con otras tecnologías similares, pero bajo condiciones diferentes. A continuación se explicarán algunos procesos de impresión aditiva para objetos de manufactura.

Las **impresoras PolyJet** pertenecen a ambas ramas, ya que combinan ambas prácticas. El cabezal de impresión deposita de una forma rápida y precisa gotas de fotopolímero líquido en capas extremadamente finas, que pueden llegar a ser de hasta 16 micrómetros, y para fortalecer el fotopolímero se emplea una lámpara ultravioleta. El tipo de fotopolímero que se emplea para esta tecnología es muy resistente, y permite crear formas de alta resolución, por lo que este tipo de fotopolímeros resultan especialmente útiles para aplicaciones industriales o médicas. Su principal desventaja es que están limitado a emplear plásticos que reaccionan a la luz ultravioleta, y aunque sí existan una gran gama de fotopolímeros no todos son resistentes, sino más bien frágiles y quebradizos.

Tecnología LENS, *Laser Engineered Net Shaping*: este método es también conocido como impresión por inyección. Funde los materiales en polvo mediante un rayo láser de alta potencia.

A medida que un rayo láser de alta potencia va recorriendo el contorno del objeto, en la misma boquilla va inyectando el metal en polvo, de manera que las partículas que alcanzan el punto de fuga del láser se funden al instante creando capa a capa una pieza de metal.

En la actualidad se emplean estos procesos de impresión para crear objetos de materiales duros como el titanio y el acero. Además se puede inyectar el polvo con más de una boquilla a la vez, lo que permite emplear varios metales base para imprimir aleaciones en proporciones ajustables. Estas proporciones se pueden variar, dependiendo del posicionamiento del cabezal, generando aleaciones graduales.

Las **impresoras de objetos laminados**, conocidas como LOM. En lugar de emplear un cabezal de impresión, el trabajo lo realiza una hoja o láser de corte, que primero recorta

la base del objeto en una hoja de papel, plástico o metal. Cuando el instrumento de corte ha terminado, la impresora coloca una nueva hoja de película adhesiva para cortar las siguientes capas, obteniendo así todas las secciones transversales del objeto. En el siguiente paso, la impresora lamina y hace presión sobre las láminas recortadas para fundirlas en un objeto sólido en 3D.

Hay otros modelos de impresoras LOM que pueden combinar las capas de corte con potentes vibraciones de ultrasonido; de esta manera se consigue que la lamina se frote con la anterior y se combinen entre ellas.

Como se ha mencionado anteriormente, existe otra familia de impresoras que utilizan un proceso de compactación para fusionar la materia prima en capas. Hay dos variantes: la **estereografía** (SL) y el **sinterizado por láser** (SL).

La estereolitografía (SL) es el primer método comercial de impresión 3D. La impresora barre con un láser la superficie de un tipo de plástico especial, un polímero termoestable sensible a los rayos ultravioleta que se endurece cuando se expone a este tipo de luz. Cada barrido de láser traza el contorno y la sección transversal de la forma impresa mediante capas consecutivas.

Después de cada barrido del láser, la base móvil que sujeta la parte impresa baja una fracción de milímetro. La pieza se hunde un poco en el líquido y un nuevo fotopolímero inunda su parte superior.

En la fase final, cuando el objeto está impreso, hay que enjuagar el material sobrante, o dependiendo de la pieza se aplica un curado final en un horno con luz ultravioleta.

El **Sinterizado selectivo por láser**, también conocido en inglés bajo el nombre de SLS, *selective laser sintering*, fue inventado en la década de 1980 por los investigadores Carl Deckard y Joseph Beaman de la Universidad de Texas. El sinterizado selectivo por láser sigue una técnica similar a la de las impresoras de estereolitografía, pero en vez de emplear fotopolímero líquido en una cuba, emplea una base de un polímero

termoplástico en polvo.

Estas impresoras aplican un rayo láser de alta potencia sobre la superficie de polvo de una cubeta. Este polvo se funde al ser iluminado por el láser. La impresora lleva un rodillo que aplica una nueva capa de polvo por encima y baja la cubeta de impresión una fracción de milímetro.

Esta tecnología hace posible la fabricación de objetos a partir de una amplia gama de materiales, como metales tales como el acero, el bronce y el titanio, y los polímeros.

Impresión tridimensional 3DP

El proceso 3DP fue inventado a finales de la década de 1980 por un estudiante del MIT llamado Paul Williams y su tutor, el profesor Eli Sachs.

Este proceso tuvo una gran acogida si tenemos en cuenta que las primeras máquinas de manufactura aditiva eran muy costosas y complicadas de manejar, tenían un gran tamaño y empleaban láseres y materiales de impresión tóxicos. El MIT patentó esta tecnología y vendió la licencia a varias compañías.

Actualmente, es un popular método de impresión en 3D de bajo coste.

El cabezal de impresión inyecta pegamento coloreado en una base de polvo almidonado y luego esparce una nueva capa de polvo antes de repetir el proceso.

Puede trabajar con una amplia gama de materias primas y fabricar modelos 3D en color.

3.4.4 Aplicaciones

Son muchos los sectores en los que la impresión 3D colabora: instrumental médico (o incluso implantes); otros aspectos mas visuales como el diseño de modelos arquitectónicos, la creación artística o el sector de la moda⁹⁵; también como herramienta de desarrollo para implementarlo en el sistema educativo, o como degustación de comida personalizada en repostería.

Sí es cierto que a medida que se genera más materia prima para las impresoras 3d, mayor será el número de aplicaciones que podrán aportar en diferentes campos científicos o sectores del comercio. En la actualidad se conocen muchas de las aplicaciones, pero aquí abordaremos las más importantes a nivel social, y las que pueden aportar algo en el campo artístico.

A. Sistema educativo

Hoy por hoy las impresoras 3D no están integradas en las centros educativos para mejorar la calidad de enseñanza, ya que conllevan unas inversiones casi inasumibles entre las que se encuentra el pago de la formación que necesitaría el profesorado, que consistiría en un seguimiento de los aspectos mecánicos. Los resultados se reflejarían en los programas de estudio impartidos por el centro.

Para los centros escolares no se trataría de replantear un nuevo plan de estudios, sino de resolver aquellas dificultades para la comprensión complementando los estudios ya impartidos, además de crear entornos de trabajo más creativos que la impresión 3D podría aportar.

95. Son impactantes las colecciones de Iris Van Herpen, quien se la conoce como unas de las primeras modistas en explorar la creación de prototipos 3D. Para la impresión de sus diseños colabora con compañías especializadas en el sector y arquitectos de renombre. Usted puede consultar "3D printed "tech couture" dresses hit the runway at Paris Fashion Week. January 22, 2013"

Las escuelas privadas tienen mayor aperturismo a la hora de introducir nuevos contenidos al no seguir los estándares estatales que las escuelas públicas presentan, y que estas no consideran como fundamentales en la actividad escolar.

Para aprobar esta política de apertura es primordial realizar un estudio sobre el rendimiento a largo plazo de los alumnos, fundamentado en métodos y hechos demostrables, aunque si es cierto que al igual que las tecnologías digitales han llegado a inundar las aulas, es de esperar que en algún futuro las impresoras 3D formen parte del entorno educativo.

Actualmente, los estudiantes pueden expresar o representar un concepto tridimensional a través de un material primario.

Para conseguir una réplica exacta, se puede escanear y posteriormente obtener la impresión física de este modelo, lo que permite abrir muchas facilidades para mostrar los volúmenes y los espacios conformados, además de compartir y distribuir un material con fundamentos didácticos para la actividad escolar.

Gracias al aprendizaje táctil se puede reforzar el conocimiento de los estudiantes, sobre todo en aquellos con discapacidad visual.

B. Práctica artística (Estado de la práctica artística en la era de fabricación 3D)

En la década de los 80 las impresoras 3D únicamente estaban destinadas a la creación de prototipos o maquetas de prefabricación, con la función de valorar la viabilidad y funcionalidad de un producto antes de su producción en serie. Estas piezas se realizaban para sectores como la medicina, la arquitectura, o el diseño industrial.

Ahora, gracias a los avances en las tecnologías de fabricación, se ha podido desarrollar una gran variedad de impresoras, así como la introducción de nuevas materias primas. Toda esta diversidad ha generado un gran interés no sólo por la rentabilidad industrial

o la presentabilidad de prototipos cuya finalidad era comunicar el concepto del diseño de un objeto, sino como una herramienta que permite facturar piezas creativas. Sus características:

- Capacidad de crear una infinidad de formas.
- En términos de tiempo y coste, se aleja de los moldes tradicionales, que conllevan a un largo plazo de producción.
- Los tamaños. Una máquina moldeadora por inyección puede crear objetos bastante más pequeños. Al igual que existen impresoras 3D que pueden fabricar a gran escala o pueden estar configuradas para moverse libremente haciendo los objetos más grandes que su cama de impresión.

El diseñador deberán tener un gran dominio de los *software* de diseño, aunque cada día, se exploran nuevas maneras de diseñar y fabricar. Muchas empresas han desarrollado *software* con los que puede trabajar todo el mundo. El principal interés de estas empresas es aumentar la accesibilidad para acelerar el consumo de las impresoras 3d. El usuario podrá manipular objetos 3D e imprimirlos sin tener conocimientos previos.

El trabajo del diseñador no sólo estará involucrado en el proceso de creación, sino que más bien su actividad estará envuelta en la adaptación de los gustos y necesidades del cliente. Mantendrá un contacto directo con el consumidor, algo que desde hace tiempo se había perdido debido a la producción masiva.

Esta petición de ajustes podría abarcar todo el proceso de creación: la forma, el material, la estética y los acabados deben adaptarse a la petición solicitada por el cliente.

C. Campo de la medicina

El campo de la medicina es uno de los más avanzados en cuanto al uso de las impresoras 3D, aunque aún se considera en fase experimental. El principal objetivo al que se aspira en este campo es poder imprimir órganos funcionales a partir de una mezcla de células y biomateriales.

En la actualidad los primeros pasos conocidos con gran aceptación son las prótesis, así como implantes o aparatos dentales y audífonos, que ya están circulando a pequeña escala en el mercado.

En los implantes de huesos, en primer lugar, se han encontrado con la dificultad de recrear piezas óseas, ya que sus formas son complejas y se deben tomar algunos procedimientos como ensamblar o bien moldear las piezas por separado. Otro inconveniente es el material; el titanio ha sido aceptado y puesto en práctica, pero lo interesante sería poder implantar con polímeros, que podrían agregar aditivos de crecimiento bioactivos e ingredientes farmacéuticos como antibióticos o antiinflamatorios.

Avances en la Bioimpresión:

La tecnología de impresión 3D está siendo actualmente estudiada en el ámbito de la biotecnología, a nivel tanto académico como comercial, para su posible uso en la ingeniería de tejidos, donde órganos y partes del cuerpo son construidas usando técnicas similares a la inyección de tinta en impresión convencional

Se espera que las partes del cuerpo biónicas sean reemplazadas por tejidos impresos en 3D, siendo las células madre la materia prima en la bioimpresión.

En biología, los tejidos son aquellas estructuras constituidas por un conjunto organizado de células, distribuidas regularmente, con un comportamiento fisiológico coordinado...(wikipedia)

El futuro de la ingeniería de tejidos⁹⁶ reside en imprimir células madre en 3D para que estas pasen por un proceso de crecimiento de los tejidos vivos.

Uno de los métodos de bioimpresión es el uso de un hidrogel que contiene células vivas y que al ser depositado por la boquilla de la impresora se transforma en tejido blando con el tiempo.

Además, el interés de las impresoras 3d ha aumentado por la aplicación que comparte con la ciencia de la *nanotecnología*⁹⁷. La impresión por inyección favorece en esta disciplina, ya que puede crear materiales con las mismas propiedades físicas (nanométricas) y químicas, como la elasticidad o la reactividad. Las posibilidades que ofrece pueden ser infinitas, y en la actualidad son objeto de estudio los materiales que pueden ser modificados a nanoescala, poniendo en práctica materiales resistentes, ligeros y con mayor reactividad química.

Por otro lado, se plantea el futuro de la “medicina personalizada”, y la droga podría ser una alternativa disponible al alcance de todos. Las personas podrían diseñar y producir sus propias drogas o sustancias con compuestos químicos. Esto genera una gran inquietud en ciertos contextos, ya que muchos emplearán esta tecnología para beneficiarse con otros fines, sobre todo en la producción de armas o en la falsificación de dinero.

Se puede suponer que la regulación ética y política exista sobre las impresoras 3d cuando comience a ser parte de nuestro mundo cotidiano, aunque cuanto mayor sea el poder de esta tecnología, más extremo será su abuso potencial.

96. Se conoce como histología a la disciplina que estudia todo lo relacionado con los tejidos orgánicos.

97. Se refiere a las aplicaciones prácticas basadas en la ciencia de los materiales a microescala. “Nano” significa una mil millonésima parte de un metro.

3.4.5 Las materias primas en la impresión 3D

Aunque existen polímeros naturales de gran valor comercial⁹⁸, la mayor parte de los polímeros que usamos en nuestra vida diaria son materiales sintéticos que se obtienen industrialmente. Ha aumentado la producción y la aplicación de estos materiales en la impresión 3D.

La palabra *polímero* procede del griego y significa literalmente muchas veces. En ciencia y tecnología se considera material polimérico a aquel que contiene muchas unidades enlazadas entre sí químicamente.

Los polímeros se producen por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas denominadas monómeros (grupos funcionales) que forman enormes cadenas de las formas más diversas.

Mayormente, los polímeros empleados en la impresión 3D son sintéticos, y como se ha mencionado anteriormente, están formados por la unión de átomos de carbono, en largas cadenas moleculares de compuestos orgánicos derivados del petróleo y otras sustancias naturales.

El *plástico*⁹⁹ es un tipo de material sintético muy popular en la impresión 3D. Los plásticos se dividen en dos categorías:

Los **termoplásticos** son plásticos que se componen de largas moléculas lineales, unidas entre sí sólo por enlaces secundarios¹⁰⁰. Al calentarse, las cadenas individuales

98. Como la lana, la seda, o la celulosa. Los polímeros proceden de la naturaleza, las biomoléculas que forman los seres vivos son macromoléculas poliméricas.

99. Los plásticos provienen del petróleo, una mezcla de hidrocarburos. El petróleo se convierte en plástico después de un proceso químico, produciendo así moléculas simples.

100. Las fuerzas de atracción intermoleculares, mucho más débiles, pero reversibles justifican la mayor parte de

se deslizan y provocan un flujo plástico. Por tanto, se funden con el calor cuando alcanza temperaturas relativamente altas y se endurecen en un estado de transición vítrea cuando se enfrían.

A diferencia de los polímeros termoestables, poseen una propiedad física que les permite cambiar gradualmente su composición, por lo que se pueden fundir y volver a moldearse varias veces para formar otros objetos. Esto los convierte en una materia muy rentable, ya que permite reciclar.

Las moléculas lineales tienen mayor resistencia a la tensión, más rigidez y mayores temperaturas de reblandecimiento.

- Los más usados para la impresión 3D son el **PLA**, un poliéster termoplástico creado a partir de recursos renovables, utilizando almidones de fuentes tales como el maíz, materia vegetal o leche de cabra. Es menos resistente que el ABS y se funde a 160°C.
- El **ABS**, *Acrilonitrilo Butadieno Estireno*, es un tipo de termoplástico muy empleado en las impresoras domésticas. Tiene superficie rugosa, y se funde a 200°C. Es un material muy similar al que se ha utilizado para las piezas de Lego.
- **Copolímeros¹⁰¹ derivados del nailon**. Estos materiales tienen propiedades del nailon. Son un polímero artificial, los oxígenos del carbonillo y los hidrógenos de la amida pueden unirse por enlace puente de hidrógeno. Esto permite que las cadenas puedan alinearse ordenadamente para formar fibras. Dejan un acabado liso en las superficies, lo que les permite ser muy útiles para materiales que tengan mucha fricción tales como rodamientos, rótulas, etc.

las propiedades de los polímeros.

101. Es una cadena larga sin ramificaciones, formado por dos o más monómeros diferentes.

- En el caso de los **materiales con terminación cerámica**, tienen un aspecto muy similar a la piedra arenisca, muy empleada por artesanos y constructores. Este material está compuesto por fragmentos de roca y minerales, en polvo molido mezclada con una resina¹⁰² para proporcionar flexibilidad, y resistencia y permite que sea procesado por la impresora. El filamento puede crear superficies suaves y rugosas, en función de la temperatura que pueda alcanzar. Otra característica ligada a la temperatura es el cambio de color, si la temperatura es baja la pieza será blanca o grisácea, y a medida que vaya subiendo tomará un color amarillento. Se usa en construcción para pavimentar suelos, creación de muros o revestimiento de fachadas.
- **Materiales con terminación de madera.** Es conocido el filamento Laywoo-D3, una mezcla de 40% de madera reciclada con un polímero de unión. Este compuesto de madera-polímero le da una apariencia natural y permite que el filamento se imprima como un termoplástico, como ABS y PLA.

El comportamiento de los **polímeros termoestables**, también conocidos como termofijos, estriba en que las cadenas forman una red tridimensional espacial, entrelazándose con fuertes [enlaces covalentes]. La estructura así formada es un conglomerado de cadenas entrelazadas dando la apariencia y funcionando como una macromolécula, que al elevarse la temperatura de ésta, simplemente las cadenas se compactan más, haciendo al polímero más resistente hasta el punto en que se degrada. Cuando se calientan, inicialmente se ablandan y pueden moldearse, pero cuando alcanzan elevadas temperaturas se produce una reacción química de entrecruzamiento que los endurece y los convierte en sólidos de gran dureza.

La estructura del polímero sufre un cambio irreversible, sin la capacidad de volverse a fundir. Por otro lado, el carácter del material es muy quebradizo en comparación

102. Copoliéster termoplástico.

con los termoplásticos que pueden ser sometidos a tensión.

También están los **polímeros elastómeros termoplásticos**¹⁰³, TPE, que son plásticos blandos con propiedades elásticas. Ante una deformación, vuelven a la forma original cuando cesa la fuerza que la provoca. Tienen una estructura entrecruzada débil (enlace dipolo o enlace por puente de hidrógeno) debido a que la macromolécula, que originalmente era un termoplástico, tiene que tener puntos reactivos donde puedan realizarse estos anclajes. Este tipo de estructura es la causa de la memoria del elastómero. Como promedio se entrecruzan alrededor de 1 cada 100 moléculas. Con este material se pueden obtener objetos con más definición, en comparación con otros materiales como el PLA o el ABS.

Desde hace mucho tiempo se ha utilizado el *metal* como método de impresión en tres dimensiones, una aplicación muy popular en las industrias, que puede llegar a imprimir metales pesados como el acero, el titanio e incluso el tungsteno, y hay varios métodos para fabricarlas. Uno de ellos emplea un proceso en varios pasos en el que el polvo de metal se funde con un láser. A continuación se retira el polvo no fundido y el objeto que queda se coloca en un horno caliente en el que se quema el pegamento aglutinador. Hay otros métodos más directos para imprimir metal en los que se extrude metal fundido o se funde el polvo de metal directamente con un láser.

Aún las impresoras domésticas no pueden imprimir metales directamente, pero un grupo de investigadores de la Universidad de Carolina del Norte, Estados Unidos, descubrió una nueva combinación de metales líquidos que pueden mantener una forma consistente a temperatura ambiente; se trata de una aleación entre galio e indio que reacciona al entrar en contacto con el aire, se oxida generando una

103. Aunque la mayoría de los elastómeros son termoestables, los más utilizados en impresión 3D son los elastómeros termoplásticos, ya que son relativamente fáciles de moldear por los métodos habituales de transformación, como por ejemplo, por moldeo por inyección. La diferencia principal entre estos es el grado de entrecruzamiento en sus estructuras. En el caso de los elastómeros termoestables, cuando el número medio de entrecruzamientos aumenta hasta 1 cada 30 moléculas, el material se convierte en más rígido y quebradizo. Un ejemplo es la vulcanización del caucho.

delgada pero resistente capa exterior del galio que permite que las estructuras de metal líquido conserven su forma.

3.4.6 Técnicas de acabado. El post-procesamiento

Cuando una tarea de impresión termina, el objeto se extrae y se somete a un proceso de preparación y limpieza, el cual se conoce como *post-procesamiento*, que dependerá de la complejidad del diseño del objeto y de la importancia del acabado que se quiera dar; en ocasiones se busca una mayor personalización, o algo tan sencillo como reparar, o al menos disimular, los pequeños defectos que hayan podido producirse durante una impresión.

Los objetos que tienen partes donde la geometría se complica o que están llenos de huecos son los mas complejos de imprimir, tales como piezas alargadas, estructuras arquitectónicas, mallas delicadas o complejos entrelazados.

A veces se espera imprimir lo que se percibe en un archivo de diseño, pero hay que tener en cuenta las estructuras de soporte. Estas se incluyen junto con en el material definitivo para tener mas resistencia, y se retiran al final del proceso de impresión, lo que puede implicar tareas manuales de pulimento, lavado y técnicas de suavizado. En este último se suelen usar procedimientos manuales básicos, aunque hay tratamientos mas avanzados que emplean equipos profesionales, conocidos como tratamientos mecánicos. Estos pueden ser las máquinas de granallado, equipos de pulido con abrasivos por vibración y, en algunos casos, procedimientos de mecanizado que conllevan la eliminación de parte del material de la pieza.

El granallado es un proceso que consiste en someter pequeños trocitos de material a un chorro de aire, el cual se dispara mediante una pistola manual a presión y se realiza mediante una cámara cerrada.

Al impactar los pequeños trozos de material sobre la pieza, se produce una deformación plástica en la superficie que produce un cierto efecto de compactación en los salientes de las capas de impresión, lográndose así un efecto progresivo de suavizado de la superficie.

Dependiendo del material que se haya empleado para la pieza, los trocitos pueden ser de un determinado material, como las microperlas de vidrio, el bicarbonato de sodio o arenas especiales de diferente granulidad y abrasividad.

Hay otro tipo de pulido, que consiste en la inmersión de la pieza en un material abrasivo colocado en un recipiente vibratorio o rotatorio. El material abrasivo empleado puede ser de diferentes tipos, según los resultados que se busquen (desgaste, abrillantado, compactación, etc.). Para llegar a estos resultados se utilizan arenas especiales, piedras pómez, trozos de cerámicas, de vidrios o termoplásticos, que pueden ir acompañados de líquidos a modo de lubricantes o para retener el polvo que se genere. El roce de éstos con la pieza va desgastando o compactando progresivamente toda la superficie de la misma en un efecto similar al granallado.

Tratamientos térmicos. En el caso de los termoplásticos, hay tratamientos térmicos que permiten retirar materia sobrante, como las rebabas de filamento, o corregir defectos, como puede ocurrir en los desprendimientos entre capas de impresión. También hay técnicas de soldadura que aplican el mismo principio de funcionamiento que las impresoras 3D, es decir, aportan material fundido en el que incluso se puede usar el mismo filamento con el que se ha impreso la pieza.

Tratamientos químicos. La mayoría de estos tratamientos consisten en someter la pieza a la acción de una sustancia determinada, generalmente algún tipo de disolvente líquido capaz de interaccionar con el material. Generalmente los tratamientos químicos están destinados a mejorar sus acabados superficiales y, en algunos casos, a realizar la unión química de las partes que componen la pieza. Los tratamientos químicos puede tener grandes riesgos si no se usan bajo unas condiciones específicas y unas precauciones en el modo de utilización, como protección, ventilación de los espacios de uso, tratamientos en caso de accidente, eliminación del producto y sus residuos, etc.

- **Tratamientos químicos por inmersión directa.** A diferencia de los tratamientos térmicos o mecánicos, donde por lo general el material conservaba sus propiedades originales tras el tratamiento, ahora, dependiendo de cómo reaccione el material de la pieza frente al aditivo químico, las propiedades del mismo podrán verse o no alteradas en mayor o menor medida.

Este tratamiento se aplica directamente sobre la pieza, sumergiendo la pieza en acetona o bien empleando brochas o pinceles. En los termoplásticos ABS se emplea un disolvente que se evapora fácilmente, conocido como propanona pura, una acetona "industrial". En el caso de las piezas PLA se recurre a productos químicos muy agresivos como el tetrahidrofurano, el acetato de etilo, butanona, diclorometano y el cloroformo.

- **Tratamientos químicos por inmersión en atmosfera de vapor.** Realizan una función parecida respecto al procedimiento anterior. La principal diferencia se encuentra en su aplicación, La pieza se introduce en una atmosfera cerrada rica en vapor del disolvente. La atmósfera se puede conseguir simplemente dejando que el disolvente se evapore a temperatura ambiente.

Los tiempos de tratamiento son mayores y, el control de la evolución del proceso y de sus resultados es más sencillo que los procedimientos de inmersión directa. Además los disolventes empleados, al ser muy volátiles y altamente inflamables, deben ser confinados en recipientes cerrados que impidan que los gases nocivos escapen.

Capítulo 4

Precedentes de la holografía en la práctica artística

En el presente capítulo analizaremos los precedentes de la holografía como medio de expresión artística y el desarrollo de la comunidad de artistas-hológrafos. En este análisis se ha tenido en cuenta la pluralidad de diferentes puntos vista sobre los estudios de otros investigadores en esta materia.

La holografía permite alcanzar un sueño que la pintura, la fotografía, el cine y el video – a través sobre todo de los intentos de dar profundidad al dispositivo- han permitido sin tregua: pasar de la imagen de proyección bidimensional a la proyección tridimensional. Zunzunegui, S. Pensar en la imagen (2007-p.237).

Es conveniente recordar que a pesar de que la holografía siempre ha tenido un uso como medio de manifestación artística, su presencia en los eventos artísticos no ha sido demasiado frecuente. Al respecto, indica Alonso, A. (2015) lo siguiente:

La holografía se ha utilizado como medio de expresión artística, pero su presencia es escasa en los eventos de arte, tampoco abundan artículos sobre obras holográficas en las revistas especializadas, a pesar de que valiosos creadores la han experimentado, desde el catalán Salvador Dalí hasta el norteamericano Bruce Nauman. (p.169)

La mayor parte de estos autores analizan la historia de la holografía artística desde sus inicios en 1960 hasta 1993. En primer lugar, tenemos la Tesis de Dra. Margaret Benyon que realiza una revisión cronológica internacional, el trabajo de Nieves Torralba aunque esté centrado en un marco nacional también tiene un enfoque internacional, y la Tesis de la Dra Rocío García Robles, *La holografía en el Arte Contemporáneo* que contempla la holografía artística hasta el año 2008.

De hecho, Robles, R. (2008) hace bastante hincapié en la relación y simbiosis establecida entre el terreno holográfico y el terreno artístico.

Desde los inicios de la holografía artística, y dada la complejidad del medio, la comunidad artística ha contado con la colaboración de la científica, sin cuya ayuda no hubiera podido materializarse el desarrollo de proyectos artísticos en este campo. Es por tanto este un buen ejemplo de la simbiosis posible y fructífera entre ambos mundos. (p.49)

Por tanto, la finalidad de este epígrafe no es otra que la de contrastar las características de la holografía artística en el pasado con la situación actual y comprobar así las

huellas que la historia de la holografía artística ha ido dejando con el paso del tiempo.

4.1 Contextualización histórica de la holografía artística: simbiosis entre ambos mundos

A mediados de los años 60, la holografía había alcanzado un alto grado de desarrollo¹⁰⁴, cientos de investigadores se dedicaban a experimentar con la tecnología de vanguardia para descubrir nuevas aplicaciones científicas.

Resulta obvio que uno de los aspectos fundamentales de este epígrafe lo constituye la estrecha relación entre el terreno científico y el terreno artístico en el sector holográfico.

La *fotografía de ondas* de Denisyuk y la visión (*la fotografía sin lentes*) formulada por los científicos Leith y Upatnieks reavivó en 1964, un gran interés por la holografía. Durante este periodo, no había una denominación clara y única para este nuevo campo, por lo que se conocía entre la comunidad especializada en este campo en tres términos distintos: *reconstrucción del frente de onda*, *fotografía de ondas* y *fotografía sin lentes*.

La explosión holográfica de principios de la década de 1960 que tuvo lugar en la Universidad de Michigan¹⁰⁵ se debió en gran parte a la fructífera colaboración y a la sinergia de físicos e ingenieros que supieron aunar los conocimientos de óptica física con la teoría de la comunicación.

En esta época, surge un movimiento contracultural en los entornos universitarios y Laboratorios de investigación. Por tanto, las últimas tecnologías convergían con

104. En concreto fue a partir del holograma de Benton, pieza clave para la holografía moderna, y los hologramas en color (utilización de tres láseres con longitudes de onda en las zonas de los tres colores primarios) que han destacado por su faceta artística.

105. Por este motivo la Universidad de Michigan ha sido desde siempre el centro de referencia de la holografía mundial.

estas corrientes de carácter esotérico¹⁰⁶.

También la década de los 60, como indica Beléndez, A. (2007) fue importante en España en lo que respecta al terreno de la holografía:

Además, el origen de la holografía en España tuvo lugar en Alicante a finales de la década de 1960 con la creación del Laboratorio de Óptica de la Universidad de Alicante (entonces Colegio Universitario) en 1968. En este Laboratorio, dirigido en sus comienzos por el Profesor Justo Oliva, se llevaron a cabo las primeras investigaciones sobre holografía en España y el primer holograma de nuestro país lo realizó en Alicante nuestro compañero José Antonio Quintana en 1969 (P.2)

En este sentido, García Robles, R. (2008) realiza un detallado recorrido histórico de la holografía en el arte contemporáneo a partir de los años 70 y hasta el 2008 (en base a la revisión bibliográfica de otros autores y aportando su propia contribución en la materia):

Durante los años 70, la cultura de la holografía seguía los cánones de la investigación científica de la posguerra (II Guerra Mundial), caracterizada por las alianzas entre la investigación en la universidad, el gobierno, y los laboratorios corporativos. (Johnston, 2006:254)

Este tipo de investigación solía mantenerse en secreto de cara al gran público, y dicho secretismo junto con la militarización de la investigación académica fue objeto de denuncia de las protestas estudiantiles durante los años setenta en todo el mundo y especialmente en EEUU.

Así, la Universidad de Michigan (Ann Arbor, EEUU), donde se investigaba seriamente en holografía, y más específicamente varios laboratorios adscritos se convirtieron en uno de los focos más activos de las protestas estudiantiles de los años 70. Como consecuencia de dichas protestas, los patrocinadores militares disminuyeron su inversión en proyectos de investigación. Esto tuvo consecuencias en el ámbito de la holografía. En Ann Arbor la investigación holográfica se convirtió en una actividad fugitiva, hasta tal punto que la revuelta estudiantil sirvió para convencer a la universidad para que optara por una solución extrema: la reorganización de los WRL en una compañía sin ánimo de lucro denominada *Environment Research Institute of Michigan* (ERIM). De esta forma los investigadores del WRL/ERIM se encontraron con que su relativa libertad como investigadores se veía condicionada por el Congreso por un lado, y por las protestas

106. Como Pribam, 1969 teorías holográficas sobre la mente o sobre el mundo holográfico, o la interpretación de la teoría cuántica David Bohm en 1952.

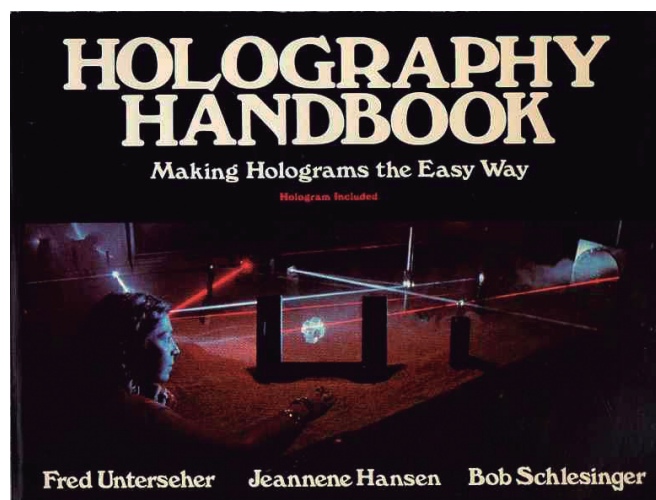


Fig. 66 “The holography Handbook”, en español “El Manual de Holografía”. Primera edición publicada en 1981.

estudiantil sobre la investigación clasificada por otro lado. Esta situación inusual de Ann Arbor fue apoyada por otros dos centros norte americanos: El Área de la Bahía de California (Bay Area of California, BAC) y Boston en la orilla opuesta de EEUU.

La oposición estudiantil en Ann Arbor, y la Bay Area fomentó una contracultura que tuvo repercusiones directas para la holografía. Es posible identificar una subcultura o contracultura que contrasta con la representación “ortodoxa” del hológrafo, es decir la del profesional financiado por agencias gubernamentales o bien la del investigador académico en el campo de la ingeniería óptica. Las protestas estudiantiles contra la investigación secreta y, más ampliamente, contra tecnologías establecidas y presunciones diversas, provocaron una autocrítica de la propia holografía. La postura de los estudiantes afectó a determinados centros tales como la Universidad de Michigan, la Universidad de Standford, o el Massachussets Institute of Technology (MIT), y afectó a la naturaleza de la investigación en sí misma. Más concretamente, el posicionamiento anti-tecnológico y las filosofías alternativas propias del movimiento estudiantil impulsaron la re-evaluación de los uso de la holografía.

Además hubo una serie de factores que ayudaron a que la holografía se formalizase en el ámbito artístico. Uno de ellos fue en 1968, cuando el científico Lloyd Cross se alió con el artista Jerry Pethick para crear nuevas formas de utilizar el medio, provocando un decremento del equipamiento del laboratorio y así abaratar los costes. Para ello, emplearon una mesa artesanal antivibratoria, utilizando arena de sílice en estado puro y neumáticos rellenos de aire y desarrollaron herramientas más simples para la estabilización de los componentes ópticos como la utilización de tuberías de fontanería insertadas en la arena (Burns: Messages to the future), lo que hizo innecesario comprar una mesa de piedra de granito y emplear un sistema óptico científicamente preciso

para grabar hologramas. (p.60-61).

También durante los años 70 destaca en España la figura de Federico Oliva. Como indica Torralba, N(1996):

Federico Oliva (Wattermscheid, Alemani, 1957) es sin lugar a dudas el hológrafo con más experiencia y dominio técnico del medio actualmente en España.

Su padre, Justo Oliva, le enseñó en 1970 los primeros hologramas realizados en España en el Laboratorio de Óptica de Alicante. Podríamos decir que vivió el desarrollo de la holografía en nuestro país desde una posición privilegiada, que condicionó en gran medida su interés posterior hacia ella. (p. 97)

Más tarde, en la década de los 80, concretamente en 1981, se popularizó el libro *The Holography Handbook* (El Manual de Holografía) escrito por Fred Unterseher en colaboración junto a otros dos autores, Bob Schlesinger y Jeannene Hansen, Es una guía sencilla en la que se explica detalladamente cómo montar un laboratorio de holografía con pocos recursos económicos, y por otra parte cómo crear hologramas, empleando materiales de registro con los entonces disponibles AGFA haluro de plata. Al ser de una lectura amena, esto permitió que la técnica fuera más accesible y conllevó un fuerte interés por este medio. como soporte y vehículo para el arte.

La invención de la mesa de arena, junto con la publicación del citado libro así como la creación de talleres y cursos especializados en holografía orientados a amateurs y artistas, fueron las claves para el nacimiento de la comunidad de artesanos. Además de la citada mesa, Cross crea la primera escuela de holografía en San Francisco en 1971, conocida en inglés como *San Francisco School of Holography* en la que tanto científicos e ingenieros como artistas podían aprender la nueva técnica, y en 1974 inventa una máquina integral para hologramas de luz blanca¹⁰⁷.

De este modo, la holografía se convirtió en un ejemplo inusual de campo científico en el que participaron en su desarrollo grupos de personas de muy distinta procedencia,

107. Aunque la holografía integral fue desarrollada por Robert V.Pole de IBM, en un intento de conseguir un método de trabajo para la realización de cine holográfico.

desde físicos e ingenieros hasta artistas.

Por otro lado, las investigaciones se desarraigaron del ámbito académico-militar (financiación y colaboración de instituciones gubernamentales y el ejército) y pasaron a ser tratadas por grupos pequeños interdisciplinares, compuestas por ingenieros ópticos, hológrafos y artistas, lo que permitió, más tarde el origen de una comunidad de hológrafos artesanos. Durante la década de 1980, muchos de estos hológrafos que trabajaron en estas investigaciones ortodoxas ayudaron posteriormente a la difusión de este “nuevo medio” en el plano artístico.

En esos años, una hornada de artistas-hológrafos construyó su propio laboratorio, como Margaret Benyon (Gran Bretaña) Harriet Casdin-Plata (EE.UU), Dieter Jung (Alemania) y Moysés Baumstein (Brasil). Encontraron en la holografía una manera de expresarse y cada uno de ellos aportaba un lenguaje artístico diferente.

En octubre de 1982 se presenta la exposición *Holografía: imágenes tridimensionales* con láser en el Museu de la Ciència, que comprendía un total de 40 hologramas donde se reflejaban las bases teóricas mas esenciales sobre la técnica holográfica, además de ofrecer una explicación sobre los fundamentos teóricos. Entre ellos había una gran variedad en cuanto dimensiones y temáticas: configuraciones fantásticas, juegos de colores, y composiciones que incluyen la mezcla de objetos reales e imágenes holográficas.

En el estudio que realiza García Robles, R. (2008) sobre *“La holografía en el Arte Contemporáneo”*:

Frente a la taxonomías de términos que definían los distintos perfiles profesionales en relación con la holografía en los años 60, el Dr. Julio Ruiz los clasifica en hológrafo, holográfico-científico y artista (Torralba, 1996:87), y los definía con las siguientes palabras:

El Artista- Hológrafo es aquel que por regla general ha tenido contacto con otros medios de expresión plástica. Además ha estudiado la técnica holográfica, y aunque a veces esté algo escaso en recursos tecnológicos, lleva a cabo la obra desde el boceto a la producción.

Por tanto, el Artista-Hológrafo se enfoca en la intencionalidad, preocupándose de las dimensiones estéticas, mientras que el hológrafo artesano o el ingeniero óptico no tiene la necesidad de despertar un sentimiento estético, simplemente trasciende a un valor utilitario o bien para utilizarlo como objeto de estudio, su obra no se considera como arte. También hay hológrafos que emplean esta técnica con un fin comercial, como clasifica la Dr. Benyon (Benyon, 1994:4) estos se encuentran asociados a la publicidad (comercial holographer) o a la venta, para ofrecer unas cualidades decorativas a un espacio, como los *comercial display holographer*.

Los hológrafos artesanos eran grandes conocedores técnicos del medio, algunos de ellos han desarrollado sus propias emulsiones, como es el caso de Yves Gentet (Francia). Para ello, es necesario que el grano de la emulsión sea fino y sensible al tamaño de la longitud de onda de los láseres utilizados, que luego deben ser aplicadas a la placa o soporte holográfico.

Esta pasión les llevó a investigar y a trabajar como docentes y maestros de laboratorio en escuelas privadas y en centros académicos, donde muchos artistas tuvieron la oportunidad de aprender a manejar el medio (de la mano de artesanos) de una forma más cercana sin entrar en una terminología altamente especializada. (p.51)

En España, gran parte de las contribuciones de investigación en el campo de la holografía fueron aportadas por el Laboratorio de Óptica de la Universidad de Alicante, fundado en 1968, que continúa como uno de los mejores referentes en técnicas e investigación.

En sus comienzos este laboratorio fue dirigido por el Profesor Justo Oliva, y el primer holograma de nuestro país lo realizó José Quintana en Alicante en el año 1969.

En 1979 se celebra en Madrid la primera exposición de holografía de España (organizada por el Laboratorio de Óptica de la Universidad de Alicante y el Departamento de Óptica de la Universidad de Valencia).

Entre 1984 y 1989 el Centro de Holografía de la Universidad de Alicante organiza una muestra itinerante llamada *¿Qué es la holografía?* Estas exposiciones fueron de una gran importancia, sobre todo para la difusión de la holografía en España y en 1986 comenzaron los cursos de Iniciación a la holografía, que se prolongaron hasta los primeros años de la década de 1990.

Otro de los hitos importantes para la historia de la holografía fue el año 1986. En esta fecha Federico Oliva empezó a impartir la práctica correspondiente al curso *Introducción a la Holografía*. A este hecho hace referencia Torralba, N (1996)

Estos cursos se sucedieron, durante dos veranos, de 1986 a 1990. Hay que destacar el carácter iniciático de los mismos. De hecho, la práctica totalidad de los hológrafos españoles lo han cursado y muchos han colaborado activamente con Federico Oliva después. Nos sumamos a lo que Vicente Carretón ha señalado otorgándole el distintivo de *“padrino directo de lo más reciente de la holografía de arte española”*. (Centro de Holografía de Alicante 1985: p. 98)

En 1996 se publica *Selected Papers in Holographic Recording Materials*, donde se incluye una selección de artículos sobre materiales de registro holográfico, cinco de los cuales fueron publicados por la Universidad de Alicante.

4.2 Revisión de artistas de reconocido prestigio y su acercamiento al uso del medio holográfico.

En este apartado se procederá a hacer varias referencias sobre algunos artistas de reconocido prestigio que han hecho uso del medio holográfico.

En la historia del arte podemos encontrar numerosas referencias y anécdotas sobre artistas de reconocimiento internacional que cuya obra ha sido realizada por otros expertos. Normalmente, su trabajo solía estar financiado por clientes, marchantes de arte, o por diversas entidades patrocinadoras como fundaciones, museos, etc.

Mientras que había otro grupo de artistas que se encargaban ellos mismos de su obra holográfica, e incluso llegaron a construir su propio laboratorio. En este sentido, García Robles, R. (2008: 74) realiza una clasificación muy útil en su tesis de dos grupos de artistas:

En el análisis de la historia de los artistas hológrafos, es posible distinguir entre dos claras aproximaciones al medio: (1) Artistas que encargan la realización de su obra holográfica a otros hológrafos (artesanos, artistas o comerciales); (2) Artistas que llevan a cabo ellos mismos su obra holográfica haciendo uso de un laboratorio. En realidad esta distinción es también habitual en relación a otros medios, por ejemplo la estampación original (grabado, serigrafía, litografía,...)

Salvador Dalí fue uno de los primeros artistas en percibir las inmensas posibilidades que brindaba esta nueva técnica. Durante la década de los 60, el interés del pintor por los adelantos científicos y los experimentos ópticos se intensificó.

Gracias al estudio de la estereoscopia, fue capaz de desarrollar un gran conocimiento en el campo de la imagen tridimensional. Así pudo adentrarse en otras técnicas más innovadoras, como es el caso de la holografía, sin abandonar sus referentes y admirados maestros (Leonardo, Velázquez o Vermeer).

Lissack S. y Brill L. (2012) hacen referencia en *Dali in Holographic space* a la obra *La Gruta de Cristal*. *La Gruta de Cristal* es un collage holográfico tridimensional. Ellos lo describen como “una majestuosa mezcla artística de espiritualidad, naturaleza y tecnología”. Fue la primera incursión de Dalí en el espacio holográfico, y marcó un momento importante en la historia de la holografía, pues fue el primer artista famoso en utilizarla como medio artístico.

El libro *Dali in Holographic Space* (2012) escrito por Lissack L.; Lissack S.; Brill L. Describen la interacción que Dalí vivió con la holografía.

In 1971, we approached Salvador Dali with the concept of working with him, in the realm of creating a number of holographic works of art. Dali was delighted with this offer, as he had spent a life time in pursuit of other dimensions.

Ecstatic, with the possibility of being able to manipulate particles on a quantum level, Dali jumped around the room tapping his ornate cane, shouting, over and over again

“at last Dali has a true three dimensional canvas. (P.4)

En 1971, nos acercamos a Salvador Dalí con el concepto de trabajar con él, en el ámbito de la creación de una serie de obras de arte holográficas. Dali estaba encantado con esta oferta, ya que había pasado un largo tiempo en la búsqueda de otras dimensiones.

Eufórico, con la posibilidad de ser capaz de manipular partículas en un nivel cuántico, Dali saltó por la habitación tocando su bastón adornado, gritando, una y otra vez “at last Dali has a true three dimensional canvas (p.4)

Como resultado de su exploración, entre 1971 y 1976 Salvador Dalí, con la colaboración técnica del hológrafo sudafricano Selwyn Lissack,¹⁰⁸ y el científico Dennis Gabor¹⁰⁹, realizó un conjunto de siete hologramas¹¹⁰ titulados: *The Brain of Alice Cooper* (1973), *Crystal Grotto*, *Dali Painting Gala* (1973-74), *Holos! Holos! Velázquez! Gabor!*, *Submarine Fisherman*, *Polyhedron*, *Melting Clock* (2003).

Para ello contaron con la ayuda de *Conductron Engineers* para producir hologramas con láseres pulsantes y con *Multiplex Company* para hacer esterogramas holográficos.

En 1972 Dalí presentó estos trabajos en la Galería *Knoedler* de Nueva York y en enero de 2014 la revista “SPIE Professional Magazine” publicó el artículo de Selwyn Lissack titulado “*Dali in holographic space: A collaboration of art and science*” en el que habla de su colaboración con Dalí.

108. Selwyn Lissack, además de ser empresario y músico, en particular, se dedicó al uso de la tecnología láser en las artes visuales.

109. Como se alude en el apartado III.2.4 Historia de la Holografía, Gabor es conocido como el “padre de la holografía” por su invención y desarrollo del método holográfico, el cual le valió el Premio Nobel de física en 1971.

110. Algunos de estos hologramas artísticos pueden encontrarse en exposiciones temporales (como la exposición organizada en el Castillo Gala Dalí Púbol conocida como “3DALI. Dalí y la holografía: Realidad Virtual e ilusión de realidad”), en conjunto con otras piezas basadas en experimentos ópticos o estereoscopias (década de los 60-70s). En ellos se encuentra la síntesis de creación, ciencia y técnica que tanto interés a Dalí para crear su propio universo y así jugar con la paradoja.

Technology for art holograms was limited in the 1970s. When the Dali holograms were made, holography was in its infancy and had many limitations and challenges. The details of the making of all the Dali holograms can be found in the 2012 book, *Dali in Holographic Space*, which I wrote with Linda Lissack.

Dali's contributions to art holography were monumental. His talents and forward-thinking mind were so far ahead of the technology that the artwork he applied in creating the holograms would be exactly the same today. The Dali holographic masters can be compared to currency plates; they transcend time and they never change. What does change, with evolving technology, is the playback system.

In the 1960s and '70s, and even still today, bulky, hot, expensive lasers, mercury-arc, and tungsten halogen lights have been used to play back holograms. Unfortunately, none of these systems work well in the home, making it difficult to display a hologram in an artistically inspired manner.

With the invention of "super-bright" LEDs, however, art display holograms in the home may be in our future.

A super-bright LED is a good point-source light for holography. These LEDs are available in various colors or white light, use very little power, and have a 1-inch Edison screw-in base, similar to the average light bulb for the home. LEDs run cool and can have a life of more than 30,000 hours.

Dali's artistic vision for "painting" 3D pictures

As we evolve into a digital world, with holographic printers, I often wonder what Dali, who died in 1989, would have done with the new technology. Can you imagine Dali sitting down to a three-dimensional CAD-type program to paint a 3D picture?

As he once said, "Art is only limited by one's imagination."

It was a humbling experience working with such a great mind and artist as Dali. I have spent my life fulfilling the promises I made to him. This was to create and produce his holographic images with the evolving technology, as he envisioned them.

Fuente:https://spie.org/membership/spie-professional-magazine/spie-professional-archives-and-special-content/2014_jan_archive_spie_pro/dali-in-holographic-space

La tecnología de hologramas de arte era limitada en la década de los 70. Cuando se hicieron los hologramas Dali, la holografía estaba en plena infancia y tenía muchas limitaciones y desafíos. Los detalles de la realización de todos los hologramas Dali se pueden encontrar en el libro de 2012, *Dalí en holográfica del espacio*, que escribió con Linda Lissack.

Las contribuciones de Dalí al arte de la holografía fueron monumentales. Su talento y su visión de futuro estaban muy por delante de la tecnología de la obra, que él aplicaba en la creación de hologramas, esto sería exactamente lo mismo hoy en día. Las piezas maestras holográficas de Dali se pueden comparar con las placas de divisas; que trascienden el tiempo y que nunca cambian. Lo que cambia, con la evolución de la tecnología, es el sistema de reproducción.

En las décadas de 1960 y 70, e incluso hoy en día, voluminosos, caliente, láseres caros, de arco de mercurio, y las luces halógenas incandescentes se han utilizado para



Fig. 67 Obra de Salvador Dalí "*Holos! Holos! Velázquez! Gabor!*" Collage holográfico. Dalí era experto en dar forma a las imágenes para cambiar su significado. Se trata de un holograma que combina dos imágenes, en una aparece una escena compuesta por unos jugadores de cartas y en la otra es una representación de Las Meninas.



Fig. 68 Obra de Salvador Dalí, titulada "*The Brain of Alice Cooper*" (1973), Holograma integral.

En la secuencia aparece Cooper adornado en joyas y flotando en el aire. Su cerebro sale de su cabeza y flota detrás de él mientras le canta a una Venus de Milo como si fuese un micrófono.

reproducir hologramas. Desafortunadamente, ninguno de estos sistemas funcionan bien en el hogar, lo que hace difícil para visualizar un holograma de una manera artísticamente inspirado.

A pesar de la invención de los LED "super-brillantes", mostrar el arte de los hologramas en el hogar puede ser nuestro futuro.

Un LED ultra brillante es un buen punto o fuente de luz para la holografía. Estos LED están disponibles en varios colores o en luz blanca, que utiliza muy poca energía, y tienen un tornillo de 1 pulgada Edison en base, similar a la media de la bombilla luminosa para el hogar. Los LED se enfrían y pueden aguantar una vida de más de 30.000 horas.

La visión artística de Dalí para la "pintura" en imágenes 3D

A medida que evolucionamos en un mundo digital, con las impresoras holográficas, a menudo me pregunto qué Dalí, que murió en 1989, lo habría hecho con la nueva tecnología. ¿Se imaginan a Dalí empleando un programa tipo CAD en tres dimensiones para pintar una imagen en 3D?

Como él dijo una vez, "El arte sólo está limitado por la imaginación."

Fue una experiencia aleccionadora trabajar con una gran mente tal y como el artista Dalí. Me he pasado la vida cumpliendo las promesas que hice a él. Esto fue para crear y producir sus imágenes holográficas con la evolución de la tecnología, como él las imaginaba. Fuente:https://spie.org/membership/spie-professional-magazine/spie-professional-archives-and-special-content/2014_jan_archive_spie_pro/dali-in-holographic-space

Otra referencia es *La máquina de lluvia*, experimentación que llevó a cabo Andy Warhol con la holografía¹¹¹.

A finales de los años 60, en concreto en 1968, existía la posibilidad de experimentar con la holografía, y en este periodo muchos artistas se afiliaron a importantes empresas especializadas en la imagen tridimensional. Andy Warhol es considerado uno de ellos, y la introduce en sus obras. Tornero, P (2012) en su tesis *Tecnologías de la Creatividad: Conexiones entre arte y ciencia en la Contemporaneidad*, describe una muestra de las intenciones que Andy Warhol pretende para la creación de una peculiar instalación.

Maurice Tuchman desde hacía algún tiempo, había pensado que Andy Warhol podría innovar utilizando este medio. En febrero de 1969, Warhol visitó Los Ángeles durante varios días y se reunió con varios ingenieros. Había mostrado interés en trabajar

111. Tesis de Paz Tornero, pag. 49, capítulo "La máquina de la lluvia" (2012).

con imágenes 3-D. En ese momento, Bruce Nauman exponía sus autoretratos en la galería Nicholas Wilder y varios miembros de A&T fueron a visitarla acompañados por Warhol. Esta exposición sirvió como punto de referencia en el trabajo que el artista quería producir. Antes de volver a Nueva York, Warhol mostró interés por trabajar con la compañía *Ampex's Redwood*. City encargada de crear sistemas de grabación fotográfica, sistemas de almacenamiento de datos, láseres, microfichas, sistemas de grabación digital, electroóptica, modulación, holografía, etc. En abril de 1969, parte del equipo A&T visitó estudio de Andy en el que encontró una serie de maquetas que simulaban imágenes 3-D. Una de ellas contenía pequeñas partículas de polietileno, flotando y girando con movimiento circular gracias a unos sopladores de aire que representaban copos de nieve. También había una máquina de "hacer lluvia", un sistema de bombeo a través del cual el agua que circulaba caía por pequeñas aberturas a una superficie cubierta por hierba. La lluvia disponía de una fuente de luz para simular un efecto de cuentas brillantes. También había una máquina de viento; una caja de madera que contenía un soplador de aire. Cada una de estas construcciones estaba concebida para ser acompañada por una imagen 3-D. Detrás de máquina de lluvia, por ejemplo, había pensado añadir un holograma o pantalla de vídeo.

"*La máquina de hacer lluvia*" fue concebida para ser acompañada por una imagen tridimensional, dónde Warhol había pensado en añadir un holograma o pantalla de vídeo. Desgraciadamente, muchas de las compañías con las que contó especialmente, no podían construir un holograma en las dimensiones que requería esta instalación, y tuvo que recurrir a otras técnicas, aunque aún así seguía teniendo problemas debido a los costes de producción. Finalmente fue la empresa *Crowles Communications, Inc.*, quien pudo abordar el proyecto con los paneles *Visual Pana Graphics*; de esta manera Warhol pudo sustituir la holografía que en un principio pensó, manteniendo la idea de reproducir una imagen 3D. (pp 49-50)

4.3 Relación simbiótica entre la holografía y el arte

“La holografía es un campo en que convergen y se funden arte, ciencia y filosofía” Rudie Berkhout

Uno de los aspectos más interesantes de la holografía es la relación simbiótica que se da entre las ciencias y las artes. El profesor Stephen A. Benton (1941-2003), señaló que *“es la intersección de arte, ciencia y tecnología lo que hace la holografía tan interesante.”*¹¹²

Como indican E. Ritscher, J. Reilly, J. Lambe y R. Macarthur (1983), en su obra *Light Dimensions. The Exhibition of the Evolution of Holography*, Benton señaló en una ocasión que *“la creatividad no pertenece solamente al dominio del arte, existe en todas las áreas de nuestra existencia y uno de los aspectos más interesantes del medio emergente que es la holografía es la relación simbiótica que se da entre las ciencias y las artes”* (P.75)

En línea con lo anterior, indica Torralba, N. (1996) :

La obra más significativa de Benton es *Crystal Beginnings* (1977), donde hace referencia al modo en el que contemplamos la naturaleza de la tridimensionalidad al tiempo que intenta introducirnos en la infinita complejidad de esa percepción. (P. 42)

Uno de los pioneros en el medio holográfico fue el estadounidense Bruce Nauman (1941), cuyos hologramas desde finales de 1960 han promovido las manipulaciones físicas y exploraciones del cuerpo como un medio que estaba llevando a cabo en ese momento.

Nauman produjo dos juegos de hologramas entre 1968 y 1969. El segundo conjunto muestra su cuerpo comprimido, coaccionado, y se retorció en el plano de la imagen. “Las imágenes de la Luna” incluirán de Nauman holograma H de la “*Segunda Serie*

112. E. Downing, *Holographic images – The intersection of art, science, and technology* (Spectrum MIT, 1999). Disponible en <http://web.mit.edu/giving/spectrum/winter99/holographic.html>.

holograma: la figura poses completas (AJ)" (1969), marcando una de las primeras veces en que este trabajo ha sido expuesto en Nueva-York.

Un número sorprendente de artistas establecidos pronto siguió con experimentaciones en la holografía, que han continuado durante las últimas cuatro décadas. Artistas tan diversos como Louise Bourgeois (1911-2010), Eric Orr (1939-1998), Ed Ruscha (1937-), James Turrell (1943-) y Chuck Cross (1940-) tienen todos los trabajos realizados con holográficas que se basan en la capacidad del medio para replicar la tridimensionalidad y el espacio profundo para ampliar los temas que se extraen con tanto éxito en otros formatos. Lo inquietante, objetos domésticos e interiores siniestros que definen el trabajo de Bourgeois, parece totalmente presente en sus hologramas sin títulos desde 1998. En la serie de hologramas que Ed Ruscha produjo el mismo año, la frase "*The End*" flota a varias profundidades en el plano de la imagen, un sistema contra líneas animadas grabadas en una superficie de celuloide, y ofreciendo un nuevo giro en la interacción entre el texto, el paisaje y la representación espacial del que se conoce Ruscha.

Eric Orr y James Turrell, en cuyas obras la luz y la función como espacio de medios artísticos crean hologramas que sintetizan el color, la forma, la iluminación, y la forma. Turrell, que ha realizado una extensa labor holográfica y que continúa trabajando en el medio empujándolo hacia adelante en nuevos reinos desafiantes, ha producido el mayor y más reciente holograma en la exposición.

En 1968 se publica en la revista *Leonardo* un artículo titulado "*Holography: A New Scientific Technique of Possible Use to Artists*", que fue escrito por el físico Hans Wilhelmsson donde señala la posibilidad de utilizar la holografía como una nueva forma de arte y enseguida algunos artistas se adentraron en la aventura holográfica.

A number of experiments, aiming at technical and scientific applications of holography are discussed. Some aspects of the impact of the field of holography on present day scientific research are mentioned, as well as future possibilities of the new technique. The question of how holography may be used by artist is left open. (H. Wilhelmsson.1968. Vol.1. pp 161-169)

Se discuten varios experimentos cuyo objetivo es la aplicación técnica y científica de la holografía. Se mencionan algunos aspectos del impacto del campo de la holografía en la investigación científica actual, así como las futuras posibilidades de esta nueva técnica. La cuestión de cómo la holografía puede ser empleada por los artistas queda abierta.

Se discuten una serie de experimentos, destinados a aplicaciones técnicas y científicas de la holografía. Se mencionan algunos aspectos del impacto del campo de la holografía en la investigación científica actual, así como las posibilidades del futuro de la nueva técnica. La cuestión de cómo la holografía puede ser utilizada por el artista queda abierta sin llegar a ninguna conclusión.

Por su parte, Beléndez, A. en su Lección inaugural *“Holografía: ciencia, arte y tecnología”* impartida el 28 de septiembre de 2007 en el solemne acto de apertura del curso académico 2007-2008 de la Universidad de Alicante, señaló lo siguiente con respecto a la implicación del movimiento del espectador en el espacio holográfico:

Frente al espacio estático y constante de la pintura o la fotografía, el espacio holográfico implicó el movimiento del espectador y una variación de la imagen, en cuanto a la producción de ángulos de visión distintos y en la percepción dinámica. La holografía fue concebida como una forma avanzada de la fotografía, un medio capaz de plasmar información volumétrica y completa de la imagen de un objeto u escena tridimensional sobre materiales especiales fotosensibles.

Resulta oportuno puntualizar que el Dr. Norbert Nobis (1945: 27-28), subdirector del Museo Sprengel de Hannover (Alemania) había planteado ya la siguiente cuestión *¿es la holografía un medio adecuado para el arte?*

“[...]Con la holografía estamos viviendo el nacimiento de un nuevo medio. La pregunta de si puede considerarse como un auténtico medio artístico, parece que podría contestarse pensando en el caso de la fotografía. Pero ciertamente no es así, la holografía ha de superar dos desventajas antes de ser aceptada como medio artístico. La primera dificultad es un problema técnico que puede plantearse simplemente con una pregunta. ¿El artista está en condiciones de dominar este medio de forma que pueda plasmar su imaginación o todavía la técnica está por encima del proceso creador? [...]” Ponferrada, Sala de exposiciones de la obra cultural (1985).

A la reflexión de la holografía como medio artístico también dedica su conferencia Yin-Ren Chang (2012), titulada *Dibujar líneas con luz en el espacio holográfico*. En ella, afirma, al respecto, lo siguiente:

Las técnicas basadas en la estereoscopia, tales como el anaglifo, la lenticular y la holografía ofrecen una nueva dimensión del arte visual. Explorar estas nuevas formas de expresión y los efectos estéticos del tiempo y el espacio constituye una de las más fascinantes aventuras en la historia del arte. Este artículo establecerá los vínculos entre el cubismo y el arte fotográfico para después conectar ambos con el tema del tiempo y el movimiento. Todo ello conllevará un análisis de los métodos de representación.

En este fragmento asistimos a uno de los motivos fundamentales por los que el número de artistas que han aprendido a manejar esta técnica es muy reducido. Además, la manipulación técnica resulta todavía complicada, es decir, el artista no puede imaginar la apariencia de la obra con antelación, algo que no le permite moverse con libertad.

Nobert Nobis (1985), opina con certeza que las complicaciones se solventarán gracias a los avances y desarrollos técnicos que se producirán en los próximos años. De hecho, los citados avances darán lugar a aparatos que reducirán las dificultades y los problemas económicos del proceso de elaboración para que el artista pueda plasmar sus ideas.

Esta segunda desventaja a la que se refirió Nobert Nobis (1985: 27-28) es de orden estrictamente artístico.

“[...]¿Qué posibilidades ofrece la holografía que no pueda ofrecer la fotografía? También se puede hacer un símil con la fotografía. Los dos medios comenzaron representando el mundo tal y como es y como lo vemos. Del mismo modo que el artista (en el mismo modo que la fotografía) ha salido del simple retrato del objeto fotografiado, manipulando (ya sea antes o durante la exposición, o bien durante el proceso de revelado) y dando otro aspecto artificial, al producto final, que responda a su concepción inicial; así mismo “el holografista” puede manipular el objeto a representar, hasta cierto límite. Sin embargo su producto –el holograma– se diferencia de la fotografía no sólo porque se ha de ver con la iluminación especial, sino sobre todo por el distinto grado de realismo de la propia imagen. [...]”

Nobis premia a la holografía por las posibilidades representativas en cuanto a la apertura de nuevas áreas artísticas y destaca que es algo más que una técnica hermana de la fotografía. Un soporte que abre la imaginación del artista a explorar nuevas dimensiones.

Por tanto, determina que las obras artísticas han de evaluarse con nuevos parámetros, según el realismo que presenten. Y la holografía es un medio adecuado para el artista.

4.4 Los primeros hológrafos-artistas internacionales

Durante los años 60, la holografía comenzó a ocupar un lugar importante en el taller del artista. En aquellos años algunos artistas-hológrafos de Estados Unidos y Europa exploraron la holografía con el objetivo de ampliar los límites de la expresión artística y de llevar a cabo ellos mismos su obra holográfica.

También García Robles, R. (2007: p. 50) hace referencia a la mitad de los años 60 como un punto clave en la historia de la holografía:

La historia de la holografía creativa es relativamente corta si se tiene en cuenta que la fecha inicial de referencia es 1965 y sobre todo si se compara con la historia de otros medios de creación contemporáneos como son el vídeo o el ordenador. Por otra parte y debido a diversos factores, entre otros los costes asociados y la dificultad desde el punto de vista técnico, este medio ha sufrido una evolución más lenta que otros tales como los citados anteriormente.

Algunos solían hacer uso del laboratorio, a veces propio, aunque normalmente pertenecía a instituciones académicas o centros de investigación, tanto públicos como privados y que autofinanciaban su producción holográfica. Por tanto, debían compaginar su actividad artística con otro tipo de actividades lucrativas, bien fuera o bien dentro del mundo de la holografía.

En este grupo, se caracteriza de una forma especial porque los artistas trabajaban además con otros medios (Pintura, Escultura, Vídeo, etc.)

A través del conocimiento y la experimentación práctica con la holografía, descubren

nuevas posibilidades expresivas, posibilitando un lenguaje propio.

Hubo algunos artistas como Rudie Berkhout, Margaret Benyon o Harriet- Casdin Silver, que trabajaron intensamente en la experimentación estética del medio como nadie lo había hecho hasta entonces.

La británica Margaret Benyon (1940), conocida como "*the mother of British holography*", fue una de las primeras artistas en emplear la holografía como medio artístico. Por su gran contribución a las artes y las ciencias, fue nombrada a la Orden del Imperio Británico (OBE).

Benyon se interesó en la holografía después de leer un artículo de prensa sobre el tema en 1967.

"I was using systems of various kinds, optical illusions, colour and so on, to modulate the picture plane so that it no longer looked flat. But in particular it was my use of the graphic interference pattern or moiré that drew my attention to holography when I read about it in a newspaper in 1967."

"The description in the newspaper, of the ways in which the interference pattern of light could do what I was already attempting to do in paint, led me to see a potential medium in holography." Rebecca Coyle & Phillip Hayward. (1995-pp 23-37)

"Yo estaba utilizando distintos tipos de sistemas, ilusiones ópticas, color, etc., para modular el plano pictórico de manera que ya no pareciera llano. Pero en concreto fue mi uso del patrón de interferencia gráfica o moiré lo que dirigió mi atención hacia la holografía cuando leí sobre ella en un periódico en 1967."

"La descripción en el periódico de las maneras en las que el patrón de interferencia de luz podía hacer lo que yo ya estaba intentando hacer en pintura, me llevó a ver la holografía como un medio lleno de potencial." Rebecca Coyle & Phillip Hayward. (1995-pp 23-37)

Y así es como describe su obra

My art work began in a traditional way, as a painter. By around 1964 my paintings, for want of a better word, could be described as "optical symbolic". I was using systems of various kinds, optical illusions, colour and so on, to modulate the picture plane so that it

no longer looked flat. But in particular it was my use of the graphic interference pattern or moiré that drew my attention to holography when I read about it in a newspaper in 1967.

The description in the newspaper, of the ways in which the interference pattern of light could do what I was already attempting to do in paint, led me to see a potential medium in holography..."

Mi obra de arte comenzó de forma tradicional, como pintor. Alrededor de 1964 mis pinturas, a falta de una palabra mejor, podrían describirse como "óptica simbólica". Yo empleaba sistemas de diversa índole, ilusiones ópticas, color y así sucesivamente, para modular el plano de la imagen, de modo que ya no pareciera plana. Pero, concretamente, fue mi uso del patrón de interferencia o moiré gráfico, lo que llamó mi atención sobre la holografía cuando lo leí en un periódico en 1967.

La descripción en el periódico, de las formas en las cuales el patrón de interferencia de la luz podría hacer lo que ya estaba tratando hacer en la pintura, esto me llevó a ver la holografía como un medio potente... (Rebecca Coyle & Phillip Hayward. 1995.Pp 23-37).

La carrera de Benyon es muy extensa. Cabe destacar su recorrido en numerosos laboratorios, como el laboratorio de la *British Aircraft Corporation* en Bristol. Más tarde hizo uso de las instalaciones del Laboratorio Nacional de Física, y en 1981 comenzó a trabajar con los láseres de pulsos en colaboración con el científico John Webster en el *Central Electricity Generating Board*.

Benyon llevó a cabo la tesis doctoral "*How is Holography Art?*", defendida en 1988. La autora realizó años más tarde (1994) un resumen de su propia tesis:

Esta tesis explora la holografía como un medio artístico desde una perspectiva conceptual más que técnica. Esboza las teorías y estéticas del siglo XX, y sugiere términos para describir subcategorías del arte en holografía, así como los distintos tipos de hologramas que existen. Una prehistoria propone paralelismos holográficos en la historia del arte. Se incluye un resumen de la historia de la holografía en las artes visuales, con una investigación de las dos primeras décadas que proporcionaron momentos decisivos en su reconocimiento y desarrollo. Se discuten las ventajas y desventajas de la holografía como medio, junto con los desarrollos holográficos de movimientos artísticos existentes, y cómo los artistas han utilizado la holografía. Se presta atención a las redes que sobreviven en el mundo de la holografía artística. Se discuten cuestiones controvertidas en el arte holográfico y contemporáneo. De esta forma, se incluyen secciones sobre la posición de la mujer, explicaciones sobre los prejuicios del mundo del arte contra la holografía y la escasez de literatura crítica en la materia. Se ofrecen además ciertas indicaciones de las posibilidades técnicas para elaborar y exponer hologramas. (Benyon, 1994: viii)



Fig. 69 Obra de Margaret Benyon, titulada "*Tango*" (1983), tamaño 8"x10" holograma de reflexión.

Posteriormente, la autora realizará un resumen de la segunda parte de sus tesis en la que plasma el trabajo práctico del proyecto y en el que se plantea como objetivo *“romper las barreras entre la holografía y la pintura como técnica tradicional de las bellas artes, así como presentar los estereotipos masculino y femenino”*

Otro de los nombres que se hace necesario destacar en el terreno de los avances holográficos es el del británico Nick John Phillips (1933-2009). Fue físico y catedrático de la Universidad de Loughborough. Realizó grandes avances en la producción de hologramas, sobre todo en la calidad de las placas holográficas a través de nuevos métodos de procesamiento fotoquímico, dando lugar a hologramas de gran luminosidad y nitidez a los colores del holograma.

Phillips ideó varias técnicas que fueron patentadas, en particular, para producir hologramas de luz blanca (hologramas de alta calidad para la visualización). Esta técnica fue ampliamente utilizada en el mundo del arte holográfico.

Otro pionero en este campo es el artista Dieter Jung (1941-), en Bad Wildungen, (Hessia), aunque antes de que se conociese su obra holográfica, ya era conocido internacionalmente por su pintura y arte gráfico. Entre 1977 y 1982 colaboró con el Dr. Donald White (Bell Laboratories), desarrollando con él hologramas integrales (cinéticas). Desde entonces recibió numerosos premios por su contribución en el desarrollo de la imagen holográfica.

He intentado incorporar el conocimiento visual aprendido en mi trabajo con medios tradicionales, a la delicada tecnología holográfica, a fin de explorar el potencial artístico de varias técnicas holográficas para conquistar territorios estéticos desconocidos, para estimular la imaginación y la orientación espacial, para generar nuevas imágenes mentales, para experimentar dimensiones diferentes, para visualizar la sensación de la fusión espacial y, últimamente, para reflejar y redefinir mis antiguos medios a través de estas exploraciones. Fiat Lux!: holografía: [exposición, Gijón, 1991] Publicación: Oviedo: Caja de Ahorros de Asturias, D.L. 1991 P.58

A lo largo de los años, Jung se convirtió en un maestro de la forma de la holografía y desarrolló obras que evocan la luz y la poesía. Este aspecto al que se sintió muy arraigado, se conoce como movimiento artístico denominado *holopoesía*. Fue

consolidada en 1983 y sirvió a muchos artistas para crear sus obras.

“El arte de hacer hologramas juega con el fenómeno de la memoria, la presencia y la ausencia en la misma vida del ser humano”. (Dieter Jung, 2003)

Rudie Berkhout (1946-2008), aunque nacido en Ámsterdam, su obra holográfica de carácter abstracto comenzó en la ciudad de Nueva York en 1975 y en el mismo año empezó a trabajar en la Escuela de Holografía de Nueva York, antes de establecer su propio estudio en la ciudad. Su trabajo considera la luz como el propio medio y trató de manifestar su misterio y belleza a través de los hologramas y las instalaciones de luz.

Fue un pionero de las técnicas de imagen intrincadas, capturando la magia de la luz y desarrollando nuevos procesos holográficos, tales como la técnica multicolor, los cuales han influido en la obra gráfica de otros artistas. Gran parte de sus conocimientos técnicos los obtuvo gracias a la literatura, así como en la práctica de sus experimentos.

A lo largo de los años, Berkhout, en su deseo de pintar con la luz, siguió explorando nuevas formas de utilizarla a través de diversas disciplinas.

“My hope is to reach the subtler levels of perception, holding up mirrors for thoughts, that reflect the magic that surrounds” Catálogo de exhibición Light Magic: holograms and laser works by Rudie Berhout en The Center for the Holographic Arts (Holocenter) 18 Abril-30 de Mayo de 2009 Fuente: <http://www.holocenter.org/images/LightMagic.pdf>

“Mi esperanza es alcanzar niveles de percepción más sutiles, sosteniendo espejos de pensamientos que reflejen la magia que nos rodea.” Catálogo de exhibición Light Magic: holograms and laser works by Rudie Berhout en The Center for the Holographic Arts (Holocenter) 18 Abril-30 de Mayo de 2009 Fuente: <http://www.holocenter.org/images/LightMagic.pdf>

Sus trabajos van desde la abstracción formal a los retratos de paisajes, siempre explorando el movimiento de la luz a través del espacio.



Fig. 70 Obra de Rudie Berkhout, titulado "*Cubic Fold #1*" (2002) Holograma de reflexión.

Berkhout, junto con Hudson Talbott, desarrolló un tipo de difracción holográfica, un sistema conocido como Novia Lighting. Se trata de una lente capaz de dispersar un haz de láser en una mirada de puntos precisos de luz. Se empleó para fachadas y esculturas y funcionaba como iluminación ambiental para interiores.

El trabajo de Rudie es muy apreciado y se aloja en las colecciones permanentes de numerosas galerías públicas y colecciones privadas.

En la vanguardia de los años 80, ha destacado el artista Rob Munday. Munday representa a un grupo de artistas que tras iniciarse en los elementos holográficos ópticos, se encauzaron hacia la experimentación digital y otras técnicas tridimensionales. Sin embargo, otros artistas han preferido mantenerse fieles a sus técnicas tradicionales, ligadas a la holografía analógica.

A Munday se le conoce por ser innovador en la técnica y sobre todo por realizar retratos holográficos a personajes emblemáticos entre ellos, el que se hizo a la Reina Isabel de Inglaterra. Su obra ha sido expuesta en galerías de todo el mundo y ha sido pionero en el desarrollo de la holografía digital y su uso para la producción de hologramas comerciales en todo el mundo. De igual forma, también destaca en el sector empresarial como fundador de varias empresas de formación de imágenes en 3D.

En 2005 fue galardonado con la Medalla Saxby, prestigioso premio internacional de la Real Sociedad Fotográfica de logro creativo y técnico en el campo de la imagen tridimensional y la holografía. En 2012 su retrato de la reina apareció en la portada de la revista TIME.

Si nos centramos en España, uno de los pocos artistas que continúa realizando sus obras holográficas en nuestra nación, es Pepe Buitrago (Consultar en el Anexo. *El estudio holográfico de Pepe Buitrago* en la página 497). Se trata de un artista profundamente arraigado en el dominio de los medios tradicionales, integra hologramas en la pintura y la escultura, creando así interesantes instalaciones. Fue en Londres de 1989, cuando inició la incorporación de la holografía al repertorio de sus habilidades artísticas.

Desde su encuentro con la holografía, ha explorado la combinación de las diversas destrezas, creando de esta manera piezas únicas¹¹³. En ningún caso, Buitrago trata de incorporar una especie de “añadido” tecnológico —como un simple complemento— a una propuesta por sí misma. El “todo” es lo que da sentido a su obra, la convivencia de las diferentes técnicas quedan sustentadas por la concepción y la dialéctica de la obra. De esta manera correlaciona, por ejemplo la pintura, la fotografía y la holografía.

Al respecto, Dalmau Carmen (2013) hace referencia a los distintos horizontes abarcados por Buitrago:

La obra de Pepe Buitrago posee muchos horizontes. La primera silueta que se recorta de una línea del horizonte es la que traza su obra en relación con la técnica holográfica, una singularidad en el panorama artístico actual. (p.1)

Además, los efectos de la integración holográfica con otros medios más tradicionales, hace que se potencie la expresión estética del espacio.

Buitrago construyó su propio laboratorio, y fundó en Octubre de 2014 el Centro de Holografía y Artes conocido como Datos Negros, una institución de carácter privado y sin ánimo de lucro. Según la Fundación, asume como argumento clave de su compromiso la atención a la holografía, a la creación contemporánea y a la transferencia del conocimiento en favor de la ciudadanía. Para ello pretende generar un espacio abierto al pensamiento y la acción que invite a configurar y modificar los procesos de investigación y producción.

En la página datosnegros.com se hace referencia al argumento que Buitrago ha usado en muchos de sus trabajos. Se trata del argumento conocido como *“La apariencia de la realidad-La realidad de la apariencia”*. En la citada web se explica que tras este argumento subyace una *“reflexión acerca de la delicada línea que discurre entre lo real y lo irreal, la sutil barrera entre lo que conocemos y desconocemos, entre lo que la realidad nos muestra y nos oculta”*.

113. Las imágenes holográficas aparecen con frecuencia junto a las generadas por otros medios. Es a finales de los setenta cuando aparecen las primeras combinaciones de la holografía con otros soportes tradicionales.



Fig. 71 Obra de Pepe Buitrago, *"Sostenible-Insostenible"*, compuesto por hologramas, cristal y madera pintada

En sus hologramas, introduce sendos frisos de Atlantes sustentando los elementos que se hallan sobre ellos. Como esta instalación realizada en el año 2004

Por su parte, Abad Vidal, J.C (2005) describe en arte10.com la caracterización y el significado del holograma representado en la figura:

Esta instalación fue realizada con la Beca-Residencia del Centro de Holografía (Nueva York, 2004), es un friso de hologramas con el tema de los atlantes parece atravesar distintos paneles de madera que se cierran formando un habitáculo no practicable, pero cuyo interior puede observarse a través de los hologramas. La estructura, de naturaleza opresiva, remite a una reflexión sobre las figuras mismas que se representan: hombres que sustentan el mismo orden que les comprime, constriñe y encarcela, como se desprende del propio título de la instalación, como modernos atlantes, somos nosotros los que soportamos el orden imperante, y, sin embargo, nos es aún posible en lugar de llorarnos, considerar la posibilidad de su reversión.

4.5 Coleccionismo, conservación y exhibición de los hologramas

Desde mediados de la década de 1970 los hologramas se iban acercando cada vez más a los consumidores y aficionados, a través de fabricantes, comerciantes, e incluso, las exposiciones y museos de hologramas. Dichas exposiciones, desde entonces en auge, sirvieron para acercar a las grandes masas. Esta primera ola de productos se mantuvo durante un relativo tiempo, un ejemplo de ello fueron los hologramas de *Edmund Scientific* que fueron producidos en masa y eran vendidos a 6 dólares cada uno, del que requería un láser de 220 dólares para una iluminación apropiada.

Con las audiencias más exigentes, fueron creciendo como emprendedores, formados en las primeras escuelas de la holografía, comenzaron a financiar su entusiasmo a través de la industria artesanal y la venta directa a un público cada vez mayor.

La adquisición de los hologramas se convirtió en una nueva tendencia para las audiencias. Una pequeña y exclusiva audiencia recogieron hologramas como arte. Al igual que con las formas más tradicionales de arte, los coleccionistas fueron distinguidos por su sensibilidad o expectativas de creciente valor estético.

El arte holográfico nunca llegó a alcanzar exorbitantes precios. La mayoría de las

piezas se intercambiaban entre los artistas o bien se mantenían en las propias colecciones.

Para una audiencia más intermedia, los hologramas atesorados tenían una apelación similar a la de la creación de gabinetes de curiosidades durante el siglo XVIII: la satisfacción de poseer objetos notables. Este énfasis en la exclusividad y el impacto inspiró la recogida de primeros hologramas, extraños e inusuales.

Para un grupo más amplio de consumidores la creciente variedad de hologramas alentó a la adquisición de colecciones representativas. Esta actividad se aceleró y se convirtió en omnipresente en la publicidad, el arte popular, el envasado y el comercio durante la década de 1980.

Más tarde Jonathan Ross, bajo la influencia del espectáculo *Light Fantastic* en 1978, creó una compañía de producción para la fabricación de hologramas, *SEE3 Holograms*, y seguidamente inaugura la primera galería en Europa, *The Hologram Place* junto a Paul Walton y Eva Ritscher. Como Ross acumuló grandes excedentes y ejemplos del estado contemporáneo del arte, sus actividad se desplazó hacia la exhibición de hologramas. Después de haber sido un coleccionista amateur, en 1998 abre una galería permanente de sus obras en Londres. Ahora, es una de las colecciones más grandes del mundo, donde se muestran hologramas de los artistas más destacados en este campo.

La aparición de los primeros hologramas constituyen, principalmente, simples imágenes en 3-D de objetos sólidos, que comenzó a incentivar la curiosidad sobre este fenómeno visual. Pero la novedad pronto se disipó, especialmente cuando se hizo evidente que las expectativas poco realistas de la holografía, como podría ser la TV holográfica, no se llegaban a materializar.

Sin embargo, la comercialización de muestras holográficas ha sido también objeto de coleccionismo y conservación, donde se muestran las diferentes técnicas que se han empleado a lo largo del tiempo.

De este modo, algunas identidades han pretendido aumentar la alfabetización visual y cultural en este medio, con el objetivo de establecer un acercamiento entre los

científicos y los artistas que practicaron esta forma de expresión.

En el presente trabajo, se ha recogido algunas de estas instituciones dedicadas a la holografía, aunque con el tiempo la mayoría han dejado de ser viables económicamente y han terminado desapareciendo. Actualmente, las colecciones más importantes del mundo se encuentran en el MIT Museum y en la colección privada de Jonathan Ross.

- Josep Burns y Rose Mary Jackson fundaron en 1976 el **Museo de Holografía de Nueva York**. Este museo estaba ubicado en Mercer Street (en el Soho) y fue cerrado en 1992.

En Mayo de 2012 el **New Museum**, en memoria de esta década, inauguró una exposición titulada *Pictures from the Moon: Artist" Holograms 1969-2008* organizado por Jenny Moore y en el que se muestra el trabajo de Bruce Nauman "Hologram H" (1969) de su "Second Series: Full Figure Poses (A-J)", Eric Orr, "Sin título" (1995), Chuck Close "Sin título #4" (1997/2007), James Turrell "Sin título (22NSGB)" (2008), Ruscha, "The End # 1" y "The End # 2" (ambos 1998/2007), Ed Ruscha y Louise Bourgeois).

- **Center for the Holographic Arts¹¹⁴**, New York. El Centro de las Artes holográficas (*HoloCenter*) es una organización benéfica dedicada a la promoción y desarrollo de obras de arte holográfico. Fue fundada por los respetados artistas holográficos Ana María Nicholson y Dan Schweitzer en 1996 y su sede se encuentra en la ciudad de Nueva York, concretamente en Manhattan. El actual director es el artista y académico Dr. Martina Mrongovius, y la organización se mantiene viva en la actualidad gracias a las donaciones y subvenciones que recibe por los miembros. El personal de HoloCenter trabaja en estrecha colaboración con los artistas para desarrollar sus conceptos y facilita el acceso a una serie de estudios centrados en la holografía. El HoloCenter tiene cuatro objetivos principales:

114. Puede consultar su Página oficial en holocenter.org



Fig. 72 Piezas exhibidas en la exposición *Pictures from the Moon: Artist's Holograms*. Serie "Sin título", (1998) formado por 8 hologramas. Colección Privada.



Fig. 73 Detalle de una de las piezas de la Serie "Sin título", (1998). Colección Privada.

producción, exhibición, investigación y educación.

- El **Museo de Holografía de Chicago** (1974) fue fundado por Loren Billings. El museo consta de cuatro galerías pequeñas, iluminadas con una luz tenue para ayudar en la visualización de los hologramas. Es el único museo dedicado a la holografía en los Estados Unidos aunque en la actualidad se busca una financiación para que se haga cargo de la conservación del museo.
- La hológrafa Edwina Orr fundó en 1982 los **Richmond Holographic Studios** en Londres. El primer centro independiente creado en Inglaterra para la enseñanza, difusión y promoción de la holografía.
- **La escuela Kunsthochschule für Medien** de Colonia, dónde el hológrafo alemán Dieter Jung fue el director del Departamento de Medien Kunst.
- El **Centro de Holografía de Alicante** empezó a funcionar en 1983, siendo integrado en la Fundación Centro de Investigación y Estudios de Alicante. El centro se dedicó a promover el conocimiento y estudio en las técnicas holográficas entre las personas interesadas en este campo, cooperar con la industria en el desarrollo y la aplicación de la holografía en procesos de control, y contribuir en la investigación en diferentes direcciones, empezando por el estudio de los medios de registro¹¹⁵. Además, son conocidos los Cursos de Iniciación a los que han asistido personas de muy distintos campos profesionales, entre ellas de arte, y procedentes de diferentes puntos de España.

115. Se han realizado investigaciones en el empleo de fotopolímeros como materiales de registro holográfico, obtención y control de elementos ópticos holográficos y hologramas generados por ordenador.

- **Museo de Holografía de París¹¹⁶**, fue creado el 25 de marzo de 1980 bajo la iniciativa de Anne Marie Christakis para promover la holografía hasta entonces desconocida por el gran público. Realizaron seminarios y conferencias profesionales para divulgar la interferometría, la técnica del láser y el espectáculo vivo. Además, otras de las actividades que realizaba, era el intercambio cultural y científico con otras instituciones. En el laboratorio del Museo fueron creadas muchas obras de numerosos artistas como Alexander, Michael Snow y Margaret Benyon. En la actualidad, también se encuentra cerrado.
- La **exposición Holografía, Ciencia y Arte** se llevó a cabo en Madrid de octubre a diciembre de 1992 con motivo de la capitalidad cultural europea. Organizada por el Centro de Holografía de Alicante, su comisario fue Justo Oliva que reunió en el Museo Nacional de Ciencia y Tecnología más de 150 obras, algunas de ellas son de grandes dimensiones.
- El **MIT Museum**, El museo alberga diversas colecciones entre las que se encuentran hologramas, artefactos, libros, archivos técnicos, dibujos y fotografías. Las colecciones reflejan los diversos intereses de la Comunidad MIT desde la fundación en 1861, a la investigación de vanguardia actual. Las colecciones del museo del MIT apoya la investigación, la publicación, la restauración, la educación, los programas públicos y exposiciones. Además, se compromete a ampliar continuamente sus colecciones.
- **Jonathan Ross Hologram Collection¹¹⁷** ubicado en Londres, es una de las colecciones más extensas del mundo sobre la holografía. El dueño de esta magistral colección ha reunido durante años todo tipo de artilugios

116. El museo ya no se encuentra activo, pero puede encontrar referencias en su página oficial museeholographie.com donde puede seguir sus actividades externas

117. Su colección puede consultarse en la plataforma jrholocollection.com

En el año 2004 recibió la medalla Saxby de la *Royal Photographic Society*¹¹⁸ (Real Sociedad Fotográfica), por su gran contribución a la imagen 3D. Tuvo su primer contacto con la holografía a finales de la década de 1970, pero comenzó a involucrarse en su colección alrededor de 1990.

En esta galería Se puede observar cómo las holografías contemporáneas han evolucionado en calidad de imagen y se han comercializado como una obra común.

"When I first became involved with holography, I joined forces with a group of fellow enthusiasts to promote what we saw as a medium with great potential for both fine art and commercial applications."

"Cuando me involucré en la holografía por primera vez, uní mis esfuerzos a los de un grupo de colegas entusiastas para promover lo que nosotros entendíamos como un medio con un gran potencial tanto para las bellas artes como para las aplicaciones comerciales."

La adquisición de arte holográfico de Jonathan Ross constituye hoy en día una amplia colección internacional, la cual ha sido compartida y expuesta al público durante 30 años y en la que especialmente se encuentran hologramas de artistas procedentes del Reino Unido y Estados Unidos pioneros en la materia. Esto la convierte en un importante archivo histórico sobre la cultura artística de la holografía. De esta manera, se concibe como una gran fuente de consulta para aquellas personas que quieren aprender más acerca de la holografía y conocer el trabajo de artistas internacionales.

La galería se divide en diferentes secciones: Art, *Display*, Commercial, Holograms in print, Holograms on disc, holographic trading cards, The cabinet y Stereograms. Ross mantuvo contacto con diferentes artistas, quienes fueron localizados en sus estudios o en conferencias internacionales. Por ello, en la **sección de Art**, se muestran importantes obras de artistas como Margaret Benyon, Harriet Casdin-plata, Sam Moree, Dan Schweitzer, Rudie Berkhout, Anait. John Kaufman, Bill

118. Se fundó en Reino Unido en 1853 por el fotógrafo británico Roger Fenton (1819-1869), pionero en la fotografía de guerra, con el propósito de promover el arte y la ciencia de la fotografía.

Molteni, Randy James, Rick Silberman, Ana María Nicholson, Doris Vila, Lon Moore, Larry Lieberman.

- En la **sección Display**, se encuentran holografías desarrolladas con medios visuales, creadas sin ningún fin artístico. Los pioneros de este tipo de holografía, en 1978, son Jeff Blyth (entonces en Hollusions) y Nick Phillips (Advanced Holographics). Además destacan los hológrafos ubicados en Inglaterra Rob Munday, Mike Medora, y Hans Bjelkhagen (originalmente de Suecia).
- La **sección Commercial**: Como su nombre indica, son holografías producidas con un fin comercial. La holografía se emplea como una mera aplicación para publicitar un eslogan (mensaje) o producto. Los primeros productos conocidos fueron unos colgantes creados en los años 70, producidos por Richard Rallison en su compañía llamada "Umbrella Electric" usando en sus hologramas Dichromate Gelatin (DCG). La producción en serie de hologramas realmente despegó con el desarrollo del holograma en relieve¹¹⁹ en los Estados Unidos, por Mike Foster, Steve McGrew en Light Impressions, y Ken Haines en American Bank Note Holographics (ABNH).

Inicialmente, sus usos fueron para novedades y promociones, portadas de revistas y tarjetas de colección, pero con el tiempo la impresión holográfica de seguridad se convirtió en el sector dominante en el mercado.

- **Holograms in print.** La holografía ha sido empleada como medio ilustrativo para aumentar las ventas, captando la atención de los lectores. Los géneros donde ha destacado son: libros infantiles, revistas y libros de ciencia ficción o de terror. La primera vez que se emplea la holografía en la prensa fue el 23 de Junio de 1983, cuando la revista *Amateur Photographer* publicó la primera cubierta con

119. Derivado del invento de Steve Benton del holograma del arco iris.

un holograma de transmisión¹²⁰, creada por Ken Harris.

Desde entonces, diversas revistas se han beneficiado de este medio para captar la atención de los lectores. En Noviembre de 1985, la revista *National Geographic* empleó para su cubierta un holograma de un cráneo de 2.000.000 años de edad.

Son numerosas las publicaciones en formato editorial producidas con hologramas con la finalidad de agregar otra dimensión; un ejemplo es el libro infantil *The Mirrorstone*¹²¹, publicado por Jonathan Cape en 1986, que incluía una serie de hologramas en relieve producidas por Light Fantastic. Otras publicaciones que emplearon Light Fantastic: *Orchard Books*, *Tango Books*, *Templar Publishing*, donde integran la holografía en las ilustraciones de una forma más sutil.

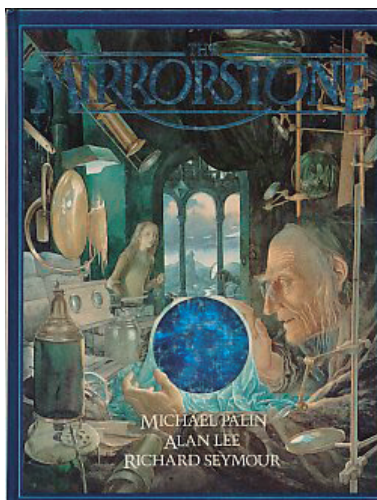


Fig. 74 Libro infantil
“*The Mirrorstone*” (1986) ilustrado
con un holograma en la portada.

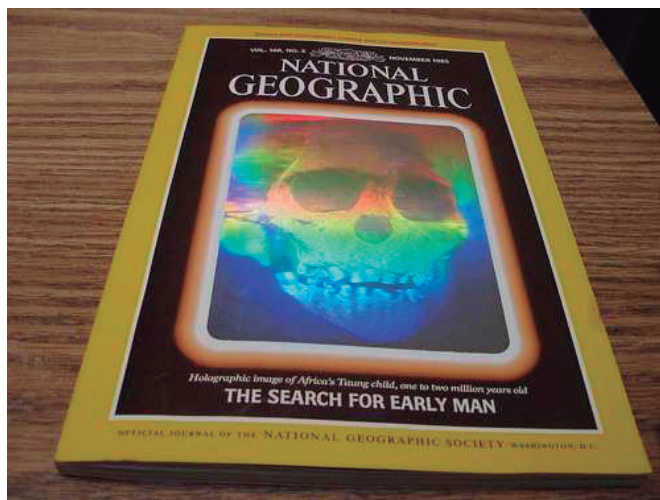


Fig. 75 Portada de la revista National Geographic (1985)

120. La imagen aparece en el catálogo de la exhibición *Light Dimensions* realizada en la Royal Photographic Society en Bath.

121. El Autor es Michael Palin, y las ilustradores fueron realizadas por Alan Lee & Richard Seymour.

- **Holograms on disc.** Los diseños realizados con difracción holográfica en discos LP marcan el inicio de una relación entre la holografía y la industria de la música. Este elemento decorativo es conocido en los álbumes de la discográfica norteamericana A&M Records, como *Paradise Theatre* por Styx y *True Colours* por Split Enz. No fue hasta 1984 cuando el grupo británico UB40 decidió contar con un holograma para la portada de su disco (por Advanced Holographics en Loughborough, Reino Unido). En este aparecían las letras UB en un holograma en relieve y el número 44 flotaba en el espacio. En su funda interior contenía una explicación del proceso holográfico e instrucciones sobre cómo iluminar el holograma.



Fig. 76 Noveno álbum de estudio *Paradise Theatre* de Styx producido en 1980.

- **Holographic trading cards.** La mayoría de los principales fabricantes de hologramas de Estados Unidos, y algunos de Europa y el Lejano Oriente, han hecho claramente negocio con la industria de tarjetas comerciales y como resultado, tenemos una diversa índole colección de hologramas que proporciona una visión general de las técnicas de las que se disponía durante este periodo y que han permanecido durante más de cien años en el comercio. Las primeras fueron unas tarjetas de beisbol que datan de 1887 y dos años antes se comercializaban con tarjetas de cigarrillos. Este fenómeno fue originado en Norteamérica, pero la tarjeta de cigarrillos ya era popular en Europa durante el siglo XX, principalmente la década de 1930.

- **The Cabinet:** se trata de una recolección de curiosidades holográficas, que el propio Ross guarda para estos espacios. La mayoría de los hologramas presentan aspectos comerciales, es decir, el holograma se integra en los productos, con la finalidad de desarrollar un negocio.

Hay hológrafos que han prestado sus habilidades para crear productos que conllevan una gran dificultad. En este caso, Ross sólo selecciona aquellas holografías que cree que tienen un gran valor y que merecen un lugar en el museo holográfico.

"I've made my own ones before, from all the treasures of my childhood... Putting things in a glass case seems to validate them, to give them a gravitas, to make them worth a second glance"

- **Stereos.** Presenta una colección de fotografías estéreo, dónde se puede observar 109 piezas de la 19th Century Stereographs Collection.

4.6 Diferentes tipos y técnicas de holografía empleados por artistas

Los aspectos que ofrece el holograma son aprovechables en el arte desde el punto de vista conceptual o metafórico. Además, como la técnica holográfica sobre soportes foto-químicos no permite realizar copias masivas con facilidad a las holografías artísticas se le otorga tal cualidad en tanto obra original. Esto le permite así transitar, sin obstáculos, entre los circuitos artísticos como resultado de esa aura de autenticidad.

En este epígrafe se procede a una breve descripción de las técnicas que se han empleado en la práctica artística desde los años 80, exponiendo algunos ejemplos. Se ha realizado una selección de aquellas obras que han sido referenciadas notablemente para el desarrollo de la técnica.

Para conseguir una documentación más fidedigna sobre los tipos de hologramas que se han empleado durante esta década, se ha servido del estudio de Oliva J. (1992) *Holografía: Ciencia y Arte / Justo Oliva Molina*. Madrid: Ministerio de Cultura (pp.27-51). Otro de los apoyos bibliográficos para este epígrafe lo ha constituido el libro *Practical Holography* (1988) de Graham Saxby. Gran Bretaña: Prentice Hall.

Hologramas con transmisión con láser (T.L.)

La obtención de la imagen requiere de un láser con suficiente potencia, o bien de una lámpara espectral de gran intensidad dotada de filtro interferencial.

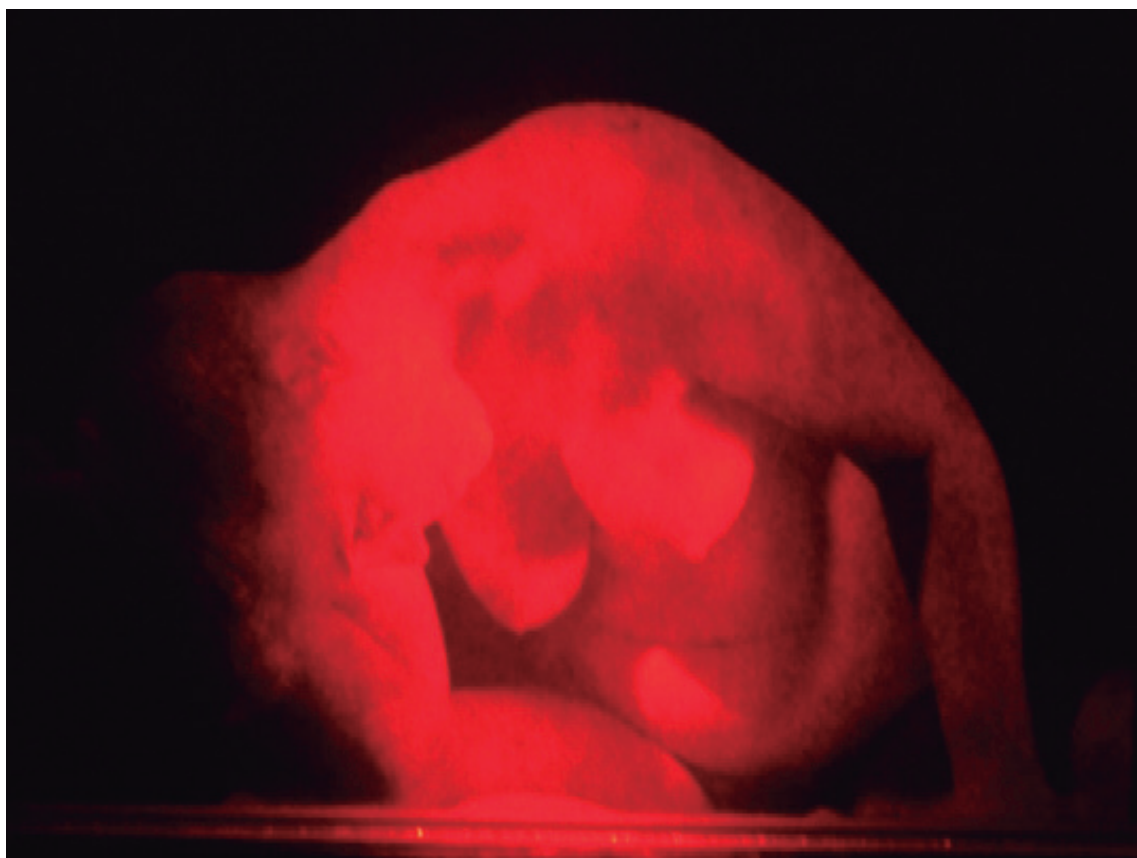


Fig. 77 Obra de Harriet Casdin-Silver, titulada "*Kathryn of Orange*" (1992) tamaño 12"x16" holograma de transmisión con láser.

Hologramas de transmisión con luz blanca (T.L.B.)

Se trata de los llamados hologramas de arco iris, porque al actuar como una red holográfica que descompone la luz en el sentido vertical, el observador ve la imagen de color diferente (desde el rojo al violeta) según la altura a que se sitúe los ojos. Normalmente se obtienen en dos etapas. En la primera, se realiza un holograma de transmisión con láser del que se aprovecha sólo una franja estrecha con la que se reconstruye la imagen real que sirve de objeto en la segunda etapa para conseguir el holograma final. Se puede conseguir una gran profundidad de la imagen.

A nivel nacional destaca la obra de Federico Oliva. La mayor parte de su obra son hologramas de transmisión de luz blanca, como es el caso de *Campo de Fugas* (1992) 20x25cms o *Espacio con cubo* (1989) 20x25cms.

Por otro lado, resalta también el citado Pepe Buitrago, quien lleva realizando el estudio de la pieza “*Gran Vidrio*” desde hace 20 años. Se basa en la propia historia del vidrio, las notas que fue dejando Duchamp en “*Las Cajas*” y en cómo sería “*El Gran Vidrio*”. Al mismo tiempo, utiliza la técnica holográfica que puede representar la ambigüedad del tiempo en el espacio, teniendo presente que el tiempo es relativo y el espacio es circunstancial.

El Gran Vidrio, constituye un holograma de reflexión que se ilumina por el frente con luz halógena o puntual, formando la luz un ángulo de 45° aproximadamente con el holograma y el espectador.



Fig. 78 Obra de Pepe Buitrago, titulada "*Gran Vidrio*" (1995-2016), tamaño 60x40 cm, hologramas de reflexión. Fotografía tomada en el estudio de Pepe Buitrago.

Hologramas de reflexión (R)

Se iluminan con una lámpara de luz blanca (halógena). Por razones prácticas se prevé que la luz venga de arriba con un ángulo de 45 grados. El holograma más sencillo de este tipo es el de Denisyuk, que fue quien ideó este método de obtención de hologramas. Lo fundamental para conseguir un holograma de reflexión es que el haz de referencia y la onda objeto incidan por caras opuestas de la placa. Existen diversas variantes, entre las que destacaremos la que permita conseguir que la imagen se vea total o parcialmente delante de la placa. Para ello es necesario realizar un primer holograma de transmisión con un haz de referencia de rayos paralelos (colimado). Después, se obtiene la imagen real iluminando con el haz colimado del láser, que debe incidir en sentido opuesto (onda conjugada) o como lo hacía el haz de referencia. Utilizando esta imagen real como objeto, hacemos un segundo holograma (este de reflexión) en una placa que puede colocarse en la posición que desee respecto a la imagen real, ya que ésta no es algo material.



Fig. 79 Obra de Alexander, titulada "SURPRISE" (1992), tamaño 10,75x9,25" es un holograma de reflexión empleada para ilustrar la monografía "Alexander" escrita por Edward Lucie-Smith.

Hologramas Policromáticos (P.C.)

Generalmente, se trata de hologramas de reflexión en los que se hacen diversas exposiciones, mediando entre cada dos de ellas un tratamiento de la placa que varía el espesor de la capa fotosensible, con lo que cambia el color que selecciona el holograma al ser iluminado con luz blanca.

John Kaufman (California, 1976) y Lon Moore son pioneros de la holografía pseudocolor (reflexión) y son reconocidos expertos en la técnica.

Moore describe su técnica en su obra *Still life* (1984). Tres piezas de fruta; manzana roja en primer plano a la derecha, pera verde en el fondo, fruta azul se muestra difusa en segundo plano a la izquierda. Este ha sido objeto de numerosos artículos y discusiones en los documentos profesionales y simposios en holografía. Tamaño 4x5 “

También hay otro tipo de hologramas de reflexión policromados, en el que los colores son neutrales. Un ejemplo, es la serie de desnudos *Into The Night*, (formada por *At the Gate*, *Descent*, *April*, *Embrace*, *Masks*) de la artista Ana María Nicholson.



Fig. 80 Obra de Ana María Nicholson titulada "*April*" (2009), holograma de reflexión policromado.

Hologramas de imagen múltiple (I.M.)

También se conoce como “multicanal” o “multiplexado”, porque sobre una misma placa se pueden obtener varios hologramas. Si para cada uno de ellos utilizamos un ángulo del haz de referencia diferente, después de ser revelada la placa e iluminada convenientemente, el observador verá distintas imágenes según la posición desde la que mire. También se apreciará un cambio de imagen si se varía la posición del foco luminoso.



Fig. 81 Obra de Peter Miller titulada “*Lizard on Board*” (1987) tamaño 8”x10”, holograma multicanal (reflexión)



Hologramas con láser pulsante (L.P.)

En general, para la obtención de un holograma con los láseres corrientes, se necesita una estabilidad extraordinaria, sin vibración alguna. Sin embargo, utilizando láseres pulsantes, que emiten una gran cantidad de energía en un tiempo brevísimo, del orden de algunos nanosegundos (mil millonésimas de segundo), se consigue hacer hologramas de animales, de plantas y hasta de objetos en movimiento rapidísimo. Destacan los retratos holográficos, como los realizados por Margaret Benyon.

En este sentido, como se describe en la conferencia *Representación artística con holografía pulsada* emitida por Setsuko Ishii (2012), las nuevas de expresión que se consiguen con la holografía pulsada, no hubiesen sido posibles empleando otros medios:

Los ejemplos descritos en este artículo han demostrado sólidamente que las diversas características de la holografía pulsada permiten nuevas formas de expresión imposibles de llevar a cabo empleando los medios ya existentes de expresión. Estos ejemplos apuntan a que las imágenes holográficas 3D realistas afectan a la relación entre los sentidos de la vista y el tacto. Algunas imágenes instantáneas reconstruidas con hologramas pulsados retratan aspectos completamente diferentes del mundo real. Nuestra visión se amplía con la holografía.

Por otra parte, existen actualmente diversos problemas relacionados con la creación de hologramas pulsados. En primer lugar, los amateurs encuentran que el láser pulsado es caro y difícil de manejar. En segundo lugar, los materiales sobre los que se graba la imagen han de ser mejorados para lograr una apropiada sensibilidad y durabilidad. Es necesario contar con científicos e ingenieros más devotos y astutos para resolver estos problemas. (9th International Symposium in Display Holography)



Fig. 82 Autorretrato de Chuck Close, titulada "*Sin título #1*" (1997), tamaño 35.5 x 28 x 2 cm

Estereogramas (E)

Consisten en una sucesión de estrechísimos hologramas (unos 2 mm) contiguos, cuya longitud es la dimensión vertical de la placa (o la película). Cada uno de ellos se obtiene a partir de un fotograma de la película cinematográfica que se realiza mientras el objeto gira sobre una plataforma (o bien, en los estereogramas planos, mientras la cámara se desplaza linealmente). Cada uno de estos hologramas elementales es del tipo arco iris.

El observador que mira el “multiholograma” iluminado, ve con cada ojo la imagen de un fotograma distinto (tomado desde diferente posición), con lo que se tiene una visión estereoscópica y por tanto se aprecia el relieve por un camino muy diferente al que se sigue en los demás hologramas.

El estereograma más conocido a nivel histórico es el realizado por el hológrafo Lloyd Cross, titulado *Kiss II* (1974). La animación de este holograma comienza con una mujer haciendo el gesto de soplar un beso y termina guiñando el ojo al espectador. Esta pieza se encuentra en el *Instituto de Tecnología de Massachusetts* (MIT) Museum, Cambridge, Mass.

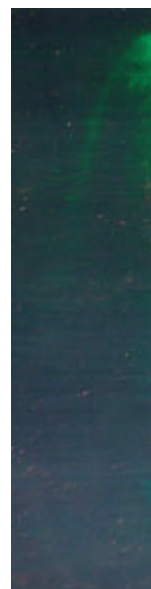




Fig. 83 Obra de Lloyd Cross, titulada *"kiss II"* (1974), estereograma holográfico. Ejemplo de cómo se combinó esta técnica con los ordenadores para crear películas holográficas.

Hologramas de Gran formato (G.F)

En este grupo hay hologramas variados, siendo los hologramas de arco iris (transmisión por luz blanca) los más utilizados.

La Dra. Paula Dawson centra su investigación en el holograma de transmisión por láser, que permite realizar holografías de gran formato sin perder el paralaje vertical (además del horizontal que presentan todos los tipos de hologramas) conservando una gran profundidad de escena, y una alta definición de imagen. Por el contrario ha de ser visualizado empleando un láser, mientras que otros tipos de hologramas son visibles con luz blanca, artificial o natural.

Dawson fue la única en emplear este medio para crear obras simulacionistas de gran formato.

Estuvo más influenciada por la investigación científica que por la de artistas holográficos del *avant-garde*.

El conjunto artístico, titulado *To absent friends*, (1989) es considerado el grupo de los hologramas de transmisión más grande del mundo. Para este trabajo Dawson recreó un pub tradicional australiano en el National Acoustics Laboratory en Sydney. Se trata de tres momentos que revelan el estado de la habitación en una fiesta de Año Nuevo. Fue galardonado por el *Grand Prix* en el *First High Tec Arte Biennale* en Nagoya en Japón en 1989.

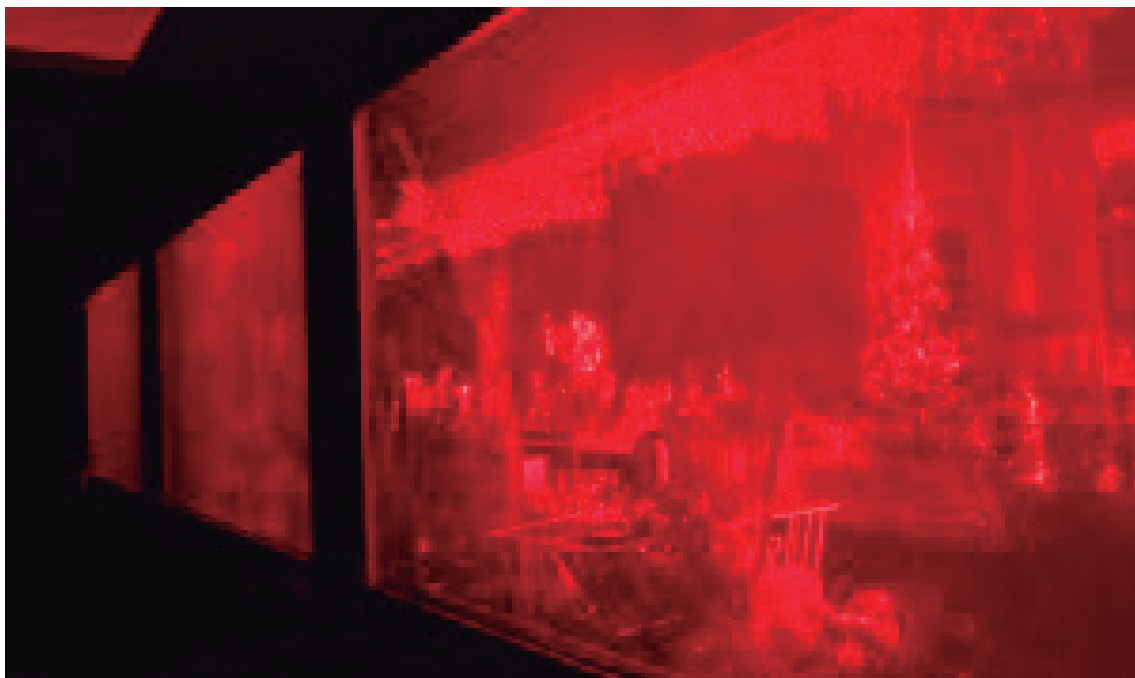


Fig. 84 Obra de Paula Dawson, titulada *"To absent friends"* (1989) tamaño 4"x 5" hologramas de transmisión. (Abajo) detalle de la obra. Actualmente se encuentra en la Universidad de Macquarie, en el Departamento de Física y Astronomía.

Hologramas generados por ordenador (CGH)

Las franjas de interferencia se obtienen de cualquier objeto mediante los dos frentes de haz, pudiéndose calcular también mediante programas computacionales específicos para este fin, e incluso se pueden crear cálculos para frentes de onda de objetos inexistentes o imaginarios. Es también posible recibir la información del láser y del objeto en cámaras ccd, que condensan y calculan informaciones para superponer miles de veces imágenes del mismo objeto, para limpiar partículas mínimas y realizar acercamientos con la máxima eficiencia; estos procesos se trabajan también para procesos de microscopía óptica.

Como ya se ha mencionado en el apartado 3.2.1 *La Holografía Digital. Técnicas de simulación*, es más frecuente observar en los espacios industriales la generación de hologramas digitales¹²². Sobre todo si se trata de hologramas en relieve (o también conocidos como embossed hologram). El holograma “Z” (1992) creado por Rob Munday, es probablemente el primer estereograma holográfico en relieve digital producida en el mundo. Munday utilizó su propio equipo de grabado, mediante un ordenador *Commodore Amiga 3000* y un sistema digital de estereograma holográfico conocido como DI-HO desarrollado por su compañía SciTech Ltd¹²³.

Sin embargo, existe una gran diversidad dentro de este campo, puesto que depende del grado de cohesión con el que intervengan usando otras técnicas o recursos tecnológicos. Así pues, muchos artistas llevan tiempo empleando una técnica conocida como Advance Holographics Digital, como *The Legend of the True Hologram* (2007), y *Luminous Presence* (2007) de Paula Dawson, o *Digital* (50x70) de Eve Ritscher Collection, adquirida por Jonathan Ross.

122. Pueden encontrarse en la práctica de la medicina como complemento a los rayos X o con ultrasonidos, con los que se pueden detectar defectos internos en cuerpos opacos (Holografía Acústica).

123. Fuente: Graham Saxby, *Practical Holography*, Fourth Edition Stanislovas Zacharovas CRC Press, 13 oct. 2015

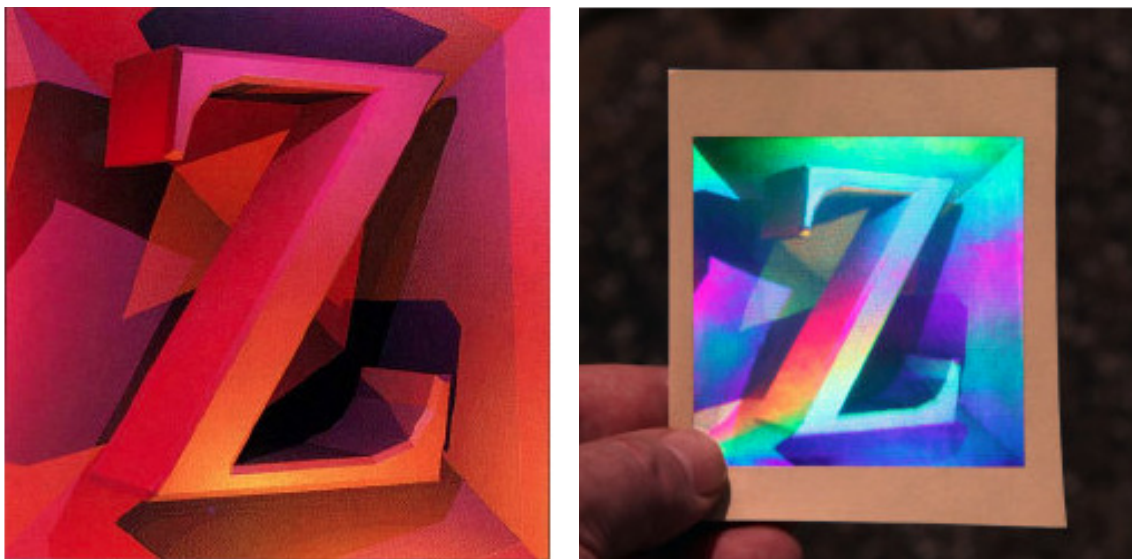


Fig. 85 Obra de Rob Munday, titulada "Z" (1992).



Fig. 86 Rob trabajando en su prototipo *Commodore Amiga* basado en el sistema DI-HO en su estudio de Chertsey, Surrey, en 1992.

Capítulo 5

Contexto de la creación artística
en el siglo XXI y la herencia de la
holografía en el arte

Como explica Richardson, Martin J. (2006:9) en su obra *The Prime Illusion: Modern Holography in the New Age of Digital Media*:

...la holografía moderna es una tecnología emergente que ofrece la oportunidad de sustituir las dos dimensiones convencionales por un espacio tridimensional. Los “Elementos Holográficos Ópticos” (EHO) irrumpen en nuestra percepción de lo real de una manera que antes había sido imposible. La alternativa que la holografía moderna ofrece a la industria es comparable al rol que los circuitos electrónicos y los microprocesadores desempeñaron a comienzos de los 60 como alternativa a la válvula electrónica.

Richardson (2006) continúa explicando los reemplazamientos y avances que se vienen dando en el terreno holográfico:

Los “*Elementos Holográficos Ópticos*” producidos en masa están empezando a reemplazar a las microlentes, y la Memoria de Fase Holográfica está lista para reemplazar a los *hard-drives* magnéticos actuales; estamos a punto de comenzar nuestro viaje hacia la “*Era de la Fotónica*”. La holografía moderna es capaz de integrarse entre los medios digitales y de explorar las limitaciones de sus predecesores, lanzando así sus nuevos desarrollos como *hyper-media* para comentar sutilmente el mundo real y desdibujar nuestra comprensión de la realidad hasta que la objetividad quede sumergida en un mar de ilusiones.

La realidad extrema de la holografía moderna desafía nuestra comprensión del significado de “*real*”, si bien su esencial ambigüedad es tan desasosegante en su verosimilitud como reconfortante en nuestra era post-McLuhan de experiencias de Realidad Virtual, *reality shows* y celebridades, pues el público no se preocupa por la tecnología, sino por la fantasía. Los que se interesan por la tecnología como Arte descubrirán en ella dos formas de interpretación, tradicional y no tradicional.

Quienes se interesan por la ciencia de la holografía moderna encontrarán así mismo atractiva la explicación y la teoría de la luz coherente, y también los métodos empleados por aquéllos que son lo bastante listos como para capturar su capacidad de grabar un espacio real con un rayo láser y película sensible a la luz. Pero hay otras perspectivas desde las que ver esta progresión en la imagen, especialmente aquéllas que se centran en la evolución de las aplicaciones fotónicas mientras el resto del mundo avanza en su veloz marcha hacia el futuro, y que descubren tanto nuevas necesidades humanas como nuevos potenciales para viejas ideas traducidos al digital. Si usted ha leído hasta aquí, compartirá ya la idea de que la holografía moderna y su integración práctica en la vida moderna es no sólo una especulación tecnológica, sino también algo inevitable en el siglo XXI. (p.9)

5.1 Hológrafos experimentales en el ámbito artístico. Desde los años 70 hasta 2017.

A continuación se muestra una cartografía sobre las artistas que experimentaron con el medio holográfico, desde los años 70 hasta nuestros días. Es interesante resaltar la continuidad en el empleo de la holografía para expresar ideas y conceptos.

CANADA	EEUU		SUR AMÉRICA	GRAN BRETAÑA	
Claudette Abrams	Anaït Autunoff Stephens	Mike Medora	Selwyn Lissack	Margaret Benyon	Jeffrey Robb
Phillipe Boissonnet	Stephen A. Benton	Dave A. Battin	Carmenza Dominguez	Edwina Orr	Bob Connolly
Marie-Andree Cossette	Harriet Casdin-Silver	David H. Braun	Ruben Nuñez	Paul Robert Newman	Pearl John
Sidney Dinsmore	Lloyd Cross	William Molteni		Andrew Pepper	Edward Lowe
Howard Gerry	Melissa Crenshaw	Scott Nemtzow		Adrian Lines	Martin Richardson
Mary Harman	Jhon Kaufman	Dean Randazzo		Jerry Pethick	Jonathan Ross
Lon Moore	Sam Moree	Linda Law		Nick Phillips	Elizabeth Coates
Kent Vincent	Ana María Nicholson	William Molteni		Donald Thornton	Peter Miller
Heidi S. Von der Gathen	Rick Silberman	Arlinda Henderson		Patrick Boyd	Paul Scattergood
Claudette Abrams	Doris Vila	Julius Schmiedel		Iñaki Beguiristain	Rosetta Whitehead
Michael Sowden	Dan Schweitzer	Steve Weinstock		Jonathan Cope	Michael Waller-Bridge
Melissa Crenshaw	Sally Weber	Betsy Connors		David Pizzanelli	Martin Wall
Gary Cullen	Kenneth J Dunkley	Martina Mrongovius		Alexander	Dora Tass
Michael Snown	Michael Teitel			Dominic Welby	Mike Medora
	Rob Munday			Susan Cowles	
	Jason Sapan			Jhon Mitton	
	McDonnell Douglas			Carolina Palmer	
	Douglas Tyler			Michael Wenyon	
	Mark Diamond			Susan Gamble	

Fig. 87 CARTOGRAFÍA. Desde los años 70 hasta 2017

ESPAÑA	FRANCE	EUROPA DEL NORTE Y OESTE	ASIA	AUSTRALIA OCEANÍA
Vicente Carretón	Philippe Boissonnet	Dieter Jung	Setsuko Ishii	Paula Dawson
Julio Plaza	AP Holographie	Brigitte Burgmer	Ikko Nakamura	Duck Hee Cho
Federico Oliva	Pascal Gauchet	Wolf-Uwe Savrda	Sunsuke Mitamura	
Julio Ruiz	Jean-François Moreau	Dietmar Ohlmann	Ray Park	
Pepe Buitrago	Nicole Aebischer	Karsten Habighorst		
Santiago Relanzón	Dominique Mulhem	Thomas Geiger		
Nieves Torralba	Josette Rispal	Detlev Abendroth		
Máximo Alda	Anne Marie Christakis	Künstler Hans Weil-Alvaron		
Ramón Benito	George Dyens	Rudie Berkhout		
Rosita de Botton		Dutch Holographics		
		Walter Spierings		
		Ken Harris		
		Carl Frederik Reuterswärd		
		Hans Esse Esselius		
		Jim McIntyre		
		Swann Rack		
		Michael Bleyenbergh		

La holografía puede ser empleada como una herramienta cognitiva que ofrece nuevas perspectivas respecto a nuestra manera de evaluar lo que nos rodea mediante la manipulación y la distorsión de su inherente cualidad de onda. Lo cual la hace apropiada para el afán que tiene el individuo de ser representado y del *merchandising*, que corresponde a la obsesión de la sociedad por recrear su propia imagen.

Dennis Gabor mostró su invento por primera vez inmortalizando a sus héroes científicos, Huygens, Fresnel y Young. Desde entonces, muchas imágenes de estrellas del pop, escritores y artistas han sido holografiadas no como piezas de cera, sino como piezas de luz. Imágenes que van desde las grabaciones holográficas íntimas de David Byrne por Ana Nicholson hasta grabaciones de cabezas parlantes e imágenes espaciales de la extravagante banda británica Oasis.

Algo muy característico de la era digital. La apariencia es más importante que el propio contenido. Esto ha quedado reflejado en los objetos de colección.

Según Martin Richardson, estos hologramas clásicos de transmisión láser fueron pioneros de los retratos en gran formato:

Para la holografía moderna, esto comenzó en 1967, cuando los hológrafos del McDonell Douglas en San Louis sacaron su láser pulsado y comenzaron a crear hologramas de gran formato a partir de sujetos al natural en desfiles o eventos sociales, y a recrear sórdidos antros de apuestas y otras escenas fantásticas como si se tratar a de una película de "Film Noir" de serie B de los 50, dramatismo y cursilería unidos con meticulosa atención al detalle. Hoy en día estos hologramas son importantes desde el punto de vista histórico tanto por ser documentos sociales como por su mérito científico. (Martin J. Richardson 2006:18-19)

Richardson además de su extensa obra holográfica, en la actualidad es considerado uno de los mejores divulgadores de la holografía artística. Es profesor de Modern Holography en la Universidad *De Montfort*, Leicester (UK), donde dirige el Centro de Investigación holográfica. Se graduó en The Royal College of Art en 1988, con el primer doctorado en *Display Holography* y tiene numerosas menciones entre ellas, fue galardonado con la medalla "Saxby" por su contribución en la imagen

tridimensional en 2009. En 1999 fue premiado con *The Millennium Fellowship* por la Comisión del Milenio del Reino Unido por su trabajo con las escuelas de la ciudad y desde entonces ha sido distinguido con varios premios de alto nivel, incluyendo *The Saxby Medal* en 2010 de la Royal Photographic Society por el reconocimiento a su continua contribución a la formación de imágenes en 3-D. Ha grabado hologramas a grandes personalidades, entre ellas, se encuentran la famosa portada tridimensional del músico David Bowie.

Richardson grabó a Bowie en los Blue Sky Studios, en Kensal Rise, en Londres, y rodó 24 minutos que dieron lugar a un metraje tridimensional dramático, capturado como una serie de fotografías lenticulares y un gran holograma digital animado.

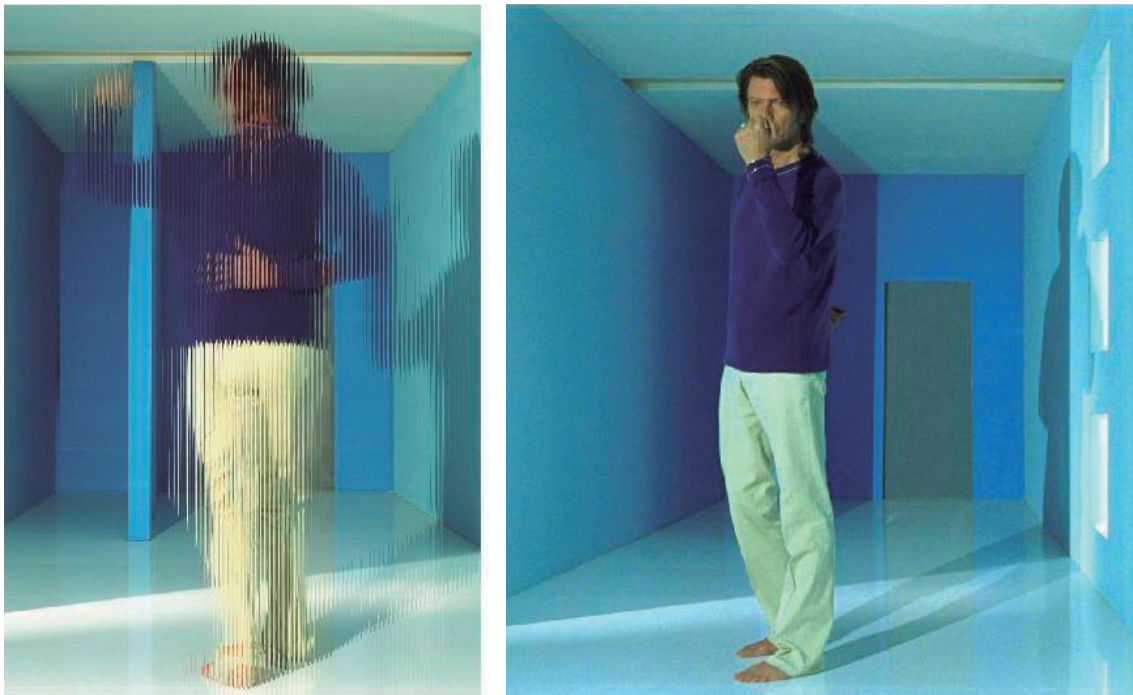


Fig. 88 Obra de Martin Richardson, titulada “David Bowie” (2012) Imagen lenticular, tamaño 500 x 600mm.

Sin embargo, a medida que aumenta el uso de la holografía, aumenta también la interpretación artística del medio, añadiéndose nuevos géneros pictóricos, como los bodegones y efigies.

Se sirve del diseño, del cromatismo y sobre todo del cuidado de la iluminación.

Este eje del marco conceptual del análisis crítico se apoya en las cualidades estéticas tradicionalmente atribuidas a otros medios, como la fotografía y la escultura. La fotografía por su documentación realista, y la escultura por sus cualidades espaciales o tridimensionales, que son inherentes a la estética de la holografía y que serán examinadas en los siguientes capítulos utilizando el concepto de “medios artísticos mixtos”.

Al igual que la fotografía, la holografía digital es, ciertamente, más que un mecanismo de documentación. Es una herramienta que puede corroborar fantasías que antes no existían, o comentar sutilmente el mundo real, desdibujando nuestra comprensión de esa realidad hasta que la objetividad queda sumergida en un mar de ilusiones. (Richardson, Martin J. 2006: p.31)

Cómo el espacio pictórico, queda contrarrestado inmediatamente por el carácter plano de la fotografía. Uno de los ejemplos más tempranos es el artista americano Rick Silberman, famoso por su obra holográfica La reunión (hacia 1980).

En palabras de René Barilleaux, conservador del Museo de Holografía (1981-1984):

“La tradición paisajística siempre ha sido diversa y ha estado abierta a nuevas interpretaciones, las cuales son aceptadas con rapidez por medios nuevos como la holografía. La capacidad de la holografía de recrear la profundidad y el volumen la hace adecuada para la materia paisajística. Puede ir más allá de la mera reproducción de la naturaleza y dar lugar a una integración única de luz y espacio”.

En este sentido, vemos que la holografía tiene un gran valor en la preservación de la imagen, e incluso sobrepasa los límites de la fotografía. Puede preservar el entorno y guardar los recuerdos tal y como son. A pesar del gran potencial de los hologramas de gran formato resulta algo decepcionante que la perspectiva de la holografía pictórica sea la mera documentación. Es indiscutible que es importante la excelencia técnica.

Sin embargo, cualquier obra debe valorarse por su originalidad creadora (mensaje transmisor del universo, cosmos del artista) y no por la destreza de la técnica que realmente debe ser entendida como un factor secundario. En sí, (como se afirma en el capítulo 3) la holografía física es la única capaz de mostrar una representación real, una cualidad estética excepcional que puede atraer la curiosidad de las masas. Por tanto, es importante que la técnica no predomine frente la creatividad de la idea y exista un equilibrio entre ambos.

Más allá de presentar un sujeto en un espacio 3D sobre una superficie plana (característica arraigada de la holografía), los artistas buscan nuevas formas de expresión que les permitan explorar el mundo desde perspectivas diferentes. La opción “abstracta” es una puerta abierta para desarrollar la creatividad que el artista aspira a lograr con su obra. Además, cada espectador tiene su propia percepción de lo que se expone ante él, de modo que cada interpretación e imaginario es diferente.

A raíz de la instalación enigmática *Where is the way?* de Pepe Buitrago, realizada una parte en Madrid y la otra en Estados Unidos en Holographics North, declaró “*la intención del trabajo que realizo, no está en las técnicas sino en las ideas*”.

Además de todo el trasfondo conceptual, la genialidad de la técnica es única, manipulada por su propio creador.

Es un trabajo basado en un vídeo que realizó hace unos años y que más tarde transformó en holograma para esta instalación. El resultado fue un holograma de transmisión rainbow (arco iris) con movimiento (estereograma), dónde Buitrago colocó un espejo detrás para que la luz rebotase, y así consiguió que la parte posterior se iluminara en un ángulo de 45°. De esta manera el espectador, situado delante, llegaría a visualizar un holograma de reflexión.

Otra curiosidad es cómo crea los colores para los hologramas. En el laboratorio, para hacer hologramas utiliza un láser de Helio-neón rojo, con este láser sólo se pueden hacer hologramas de color rojo, pero para obtener otros colores tiene que modificar



Fig. 85 Obra de Pepe Buitrago, titulada *Where is the way?* Instalación holograma rainbow (Arco iris) tamaño 100 x 135 cm y vídeo proyección 2007-2010.

la densidad de la emulsión del film con un químico llamado TEA.

Este tipo de iniciativa se observa en la actitud de los artistas hológrafos que trabajan en la actualidad. Un ejemplo es la artista Paula Dawson, que investiga nuevas aplicaciones para la tecnología holográfica. En concreto, Dawson colabora con Masa Takatsuka, Hiroshi Yoshikawa, y Brian Rogers para desarrollar un nuevo *software*, llamado *Holoshop*¹²⁴, que permite transferir los sutiles gestos de la mano con un dispositivo háptico.

Es indudable, que mediante una técnica más perfeccionada se puede alcanzar una elegancia refinada y al mismo tiempo, obtener resultados rigurosos, definidos, sin insuficiencias o errores. Podríamos decir que tal perfección técnica contribuye ya por

124. Paula Dawson. Artículo *Hyperobject: homeland*. Publicado por ISEA International Australian Network for Art & Technology University of Sydney, en el año 2013.

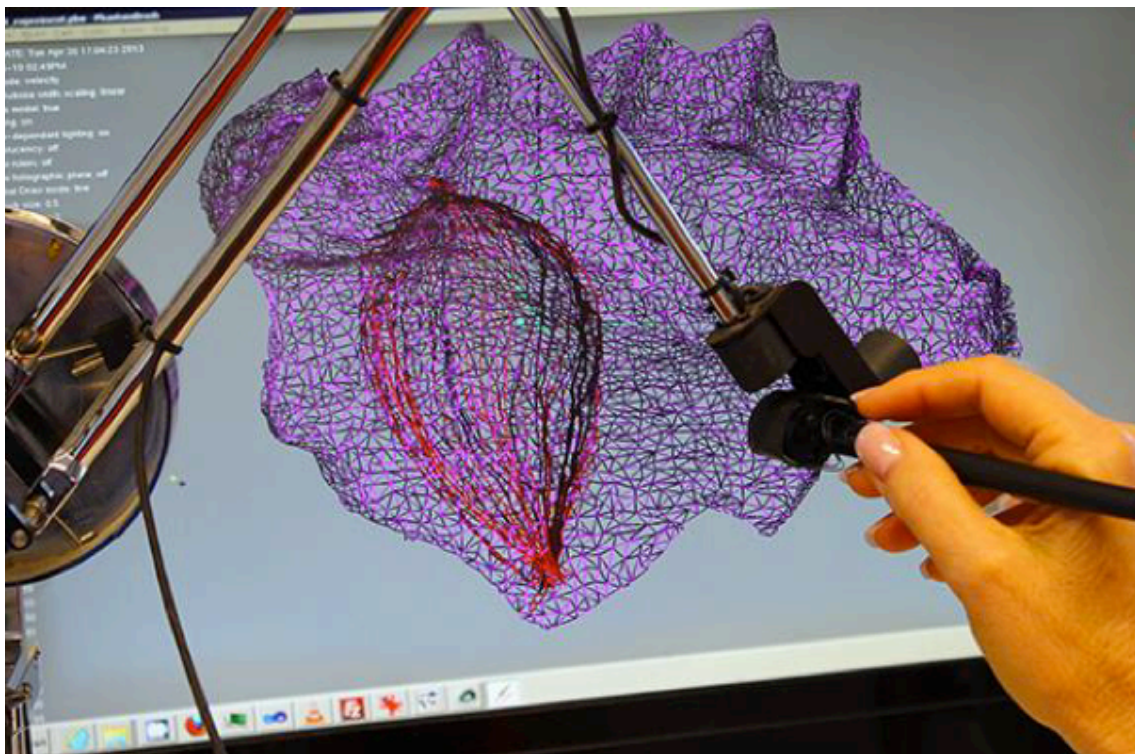


Fig. 89 Paula Dawson usando *Holoshop* y el software *Phanton Premium 1.5*

sí misma a suscitar emoción ante lo bello, ayuda a crear belleza.

Aunque, esta búsqueda incansable de atesorar e inventar nuevas herramientas plásticas para mejorar la calidad gráfica, no sólo hace que contribuya a su valor estético y técnico, sino que además hace que la obra obtenga un estilo más personal, que puede ser identificativo a la hora de analizar la obra holográfica.

Si bien, la necesidad de eliminar la ambigüedad está relacionada con las experiencias placenteras, algo que ejerce presión sobre las técnicas artísticas. La técnicas estereoscópicas¹²⁵ han hecho posible registrar cierto grado de movimiento en los hologramas; por ejemplo se puede ver a una persona mover la mano o sonreír, pero

125. Se refiere a los estereogramas holográficos, técnica que parte de la grabación de secuencias de vídeos sobre un soporte holográfico.

no son considerados como interactivos en la acepción actual de este término. Muchos estudiosos atribuyen la aparición de ciertas corrientes estéticas a la irrupción de nuevos materiales, a los avances técnicos y científicos, lo que ha permitido al artista variar los estilos (de los que se podrán valer los artistas de generaciones posteriores). En mayor parte la Realidad Virtual, la Realidad Aumentada, o incluso los dispositivos de proyección volumétrica, responden a los requerimientos y valores del público actual. Este reclamo se ha conseguido con la aparición de nuevos soportes tecnológicos. Por ello, el ordenador, es un medio muy utilizado por el artista del siglo XXI y constituye un vehículo para la expresividad del creador.

5.2 Esculturas de luz como elemento esencial de la creación “holográfica”.

La holografía permite plasmar una gran variedad de expresiones artísticas, aunque, la particularidad o potencial del “realismo perfecto”, la convierte en el medio ideal para la reproducción del arte escultórico.

Las imágenes holográficas pueden conjugarse y combinarse con elementos cotidianos y dar respuesta a propuestas que pueden ver ampliado su significado, cargarse de simbolismo y llevar a múltiples interpretaciones. Todo ello puede remitir por su esencia compartida, a movimientos como el Surrealista y el Dadaísta y a la obra de artistas que trabajan dentro de las coordenadas de la poética visual como la artista italiana Dora Tass (1969-). Sus piezas escultóricas y holográficas como los *Perturbing Objects* de 2011 presentadas en la Bienal de Venecia, son un homenaje a la memoria del propio objeto en sí, que cobra un doble sentido, por un lado permanece físico y tangible, por el otro incorpora un aspecto fantasmagórico que lo convierte en eterno, casi sagrado. Rompe con la argumentación de Jean Baudrillard que rechazaba el medio holográfico por sus limitaciones, ya que no podía generar copias de objetos con sombra, y reafirma la vigencia del mismo.

Del mismo modo, la superposición de la capa de vídeo sobre las estructuras materiales, la combinación de escultura, vídeoinstalación y performance que practican artistas como Tony Oursler (1959-) entre otros, conforma nuevos canales para los mensajes



Fig. 90 Obra de de Dora Tass, titulada *"Perturbing Objects"* (2011) Tamaño 90 x 45 x 42 cm.

finales que modifican la percepción visual y su recepción por parte del espectador. Es decir, las técnicas vinculadas al desarrollo informático y digital tienen la capacidad de crear todo tipo de realidades virtuales y al mismo tiempo fundirlas con la materialidad física. Una idea no muy alejada de la obra escultórica de la artista Dora Tass,

Dejando de lado el valor interpretativo, tiene gran importancia la luz que viaja por el espacio y el tiempo en movimiento. Estas piezas carecen de sentido sin la luz, la iluminación: los hologramas físicos necesitan ser alumbrados para su visualización; las videoproyecciones, los ordenadores, etc. precisan de una fuente de alimentación.

Los elementos audiovisuales aumentan las posibilidades de expresión de los artistas a través de la luz, generando una atmósfera alusiva lejos del espacio real, un nuevo universo creativo.

Las técnicas que permiten plasmar la luz en el arte y que generan una visión en 3D, similar a la que percibe de manera natural el ojo humano, tienen algo que llama poderosamente la atención de los artistas. Capturar la luz de la manera más natural ha supuesto un gran desafío para ellos en todas las disciplinas. Muchos han empleado la luz como materia en sus obras. La luminaria, como lenguaje visual permite utilizar el discurso de la metáfora. Como generadora de nuevos significados, se ha indagado en el modelado de las haces, los reflejos y las refracciones de la luz natural y en las fuentes de luz eléctrica.

La fascinante posibilidad de combinar diferentes aspectos como la luz, el tiempo, el movimiento y el espacio en el proceso artístico, nos aporta la autodeterminación necesaria para un nuevo nivel de creatividad. Esto nos permitirá expandirnos lejos de las restricciones que de algún modo han estado limitando el arte y romper las barreras de lo que se puede y no se puede lograr. Wilhelmsson (1968: 161-169)

Su interpretación del espacio, el tiempo y el movimiento mediante el uso de los elementos audiovisuales permite emplear la magia de la luz para llevar este arte



Fig. 91 Obra de de Tony Oursler, titulada "*Man She She*" (1997) Escultura realizada con video proyección, 16 x 10 x 7.

a otra dimensión. Para todos los artistas y todas las formas de arte, si se utiliza holografía digital como un ingrediente en el proceso creativo así como en el estadio de presentación, los logros posibles son ilimitados.

Destacan la pureza y la sutileza que transmiten las veladuras que puede ofrecer la luz como base de este proceso de creación y el análisis de la luz cósmica que se traslada al universo plástico de cada creador.

Sombras y luces dibujan espacios y volúmenes efímeros en las paredes y columnas a medida que luz y sonido se desplazan por la sala, siguiendo patrones de movimiento y ritmos cambiantes.

La magia de la luz da vida a las características únicas de todo artista y las convierte en algo singular que seduciría a cualquier adepto que esté tratando de hallar la mejor manera de captar y mostrar a su sujeto. La holografía es una técnica que captura y muestra al sujeto mediante la luz, juega con la luz para crear simbolismo

y expresividad emocional, si bien también captura la luz para enaltecer la pieza final que ha de ser presentada ante el espectador.

La luz es uno de los elementos esenciales de la creación digital. Los proyectores de alta definición o láser, combinados con el cálculo del algoritmo y los procesadores gráficos, son los recursos que se necesitan para que la tridimensionalidad sea completa. De este modo, se rompe con la pantalla rectangular tradicional y la audiovisualización se convierte en una experiencia aumentada inmersiva que adquiere otras dimensiones físico-espaciales.

La Realidad Aumentada, la holografía de proyección volumétrica y el videomapping guardan una estrecha relación con las obras cinéticas. El empleo de fuentes lumínicas o proyecciones holográficas responden a las condiciones estéticas que el espectador de nuestra era desea (interacción, representación, inmersión,...). Por tanto existe un fuerte vínculo entre el espectador y la obra.

El físico y artista británico Paul Friedlander (1951-) lleva más de dos décadas investigando toda clase de tecnologías y procedimientos con el fin de hacer de la luz una materia maleable y flexible que pueda adquirir cualquier forma y volumen. Las “esculturas cinéticas de luz” de Friedlander son un ejemplo representativo. Friedlander quedó fascinado por el arte que implica el uso de movimiento y la luz a finales de 1960, cuando visitaba la exposición cibernética Serendipity en el Instituto de Arte Contemporáneo, y ante la cinética que mostraban en la Galería Hayward. Lo singular, sin embargo, del trabajo de Friedlander es el haber aprovechado los sistemas informáticos de control de iluminación para resaltar la impresión de incorporeidad y dinamismo de sus esculturas. Aunque obras como “The Wave Equation” o “The Energy Core” no sean estrictamente hologramas, lo que el espectador descubre al situarse frente a ellas son grandes formas incorpóreas en movimiento, suspendidas en mitad del aire, que al girar sobre si mismas dotan a la luz de una tridimensionalidad que no estamos habituados a contemplar en el espacio físico inmediato.

En sus nombres, las esculturas cinéticas de luz de Friedlander suelen hacer referencia a distintos aspectos de la ciencia moderna, desde la física cuántica hasta la teoría de cuerdas. Sin embargo, su construcción estética y la recepción de su trabajo por parte de sus espectadores remite inevitablemente a lo espiritual y lo mágico.

Los elementos físicos en los que se sustentan las esculturas de Friedlander quedan ocultos por el misterio de un básico pero impactante efecto óptico. “The Wave Factory”, “The Spinners” o “Dark Matter”, algunas de sus obras más sofisticadas, comparten un mismo principio funcional: una larga cuerda que gira sobre sí misma a gran velocidad accionada por un motor. Al proyectar sobre la cuerda, luz en distintas frecuencias, controlada en su intensidad por sensores infrarrojos, la cuerda se transforma en una gran columna iridiscente de luz que cambia de tonalidad y en cuya superficie se suceden distintas texturas. Como muchos otros creadores que han desarrollado su carrera en la encrucijada entre arte, ciencia y tecnología, Friedlander sitúa su trabajo en un espacio híbrido. Por una parte, sus obras descansan sobre la amplia tradición del arte cinético el siglo XX, que no duda en reivindicar. Pero además, el británico no puede desvincular su trayectoria de la disciplina de la iluminación escénica a gran escala, en la que inició su carrera y que ha sido en las últimas décadas un factor decisivo en el desarrollo de la tecnología lumínica.

Normalmente, los sistemas que definen las condiciones de la sala (iluminación, conectividad, temperatura) se encuentran ocultos en el techo, y se hacen presentes en las sombras proyectadas por la estructura de LEDs que dan forma a la obra.

Los hologramas físicos son piezas únicas y singulares, mientras que las videoproyecciones son momentáneas y en ocasiones se alejan del sentido práctico artístico, introduciéndose más en el mundo del mercado. Por este motivo, se ha suscitado confusión tanto en su terminología holográfica, como en su uso práctico ya sea artístico o comercial.

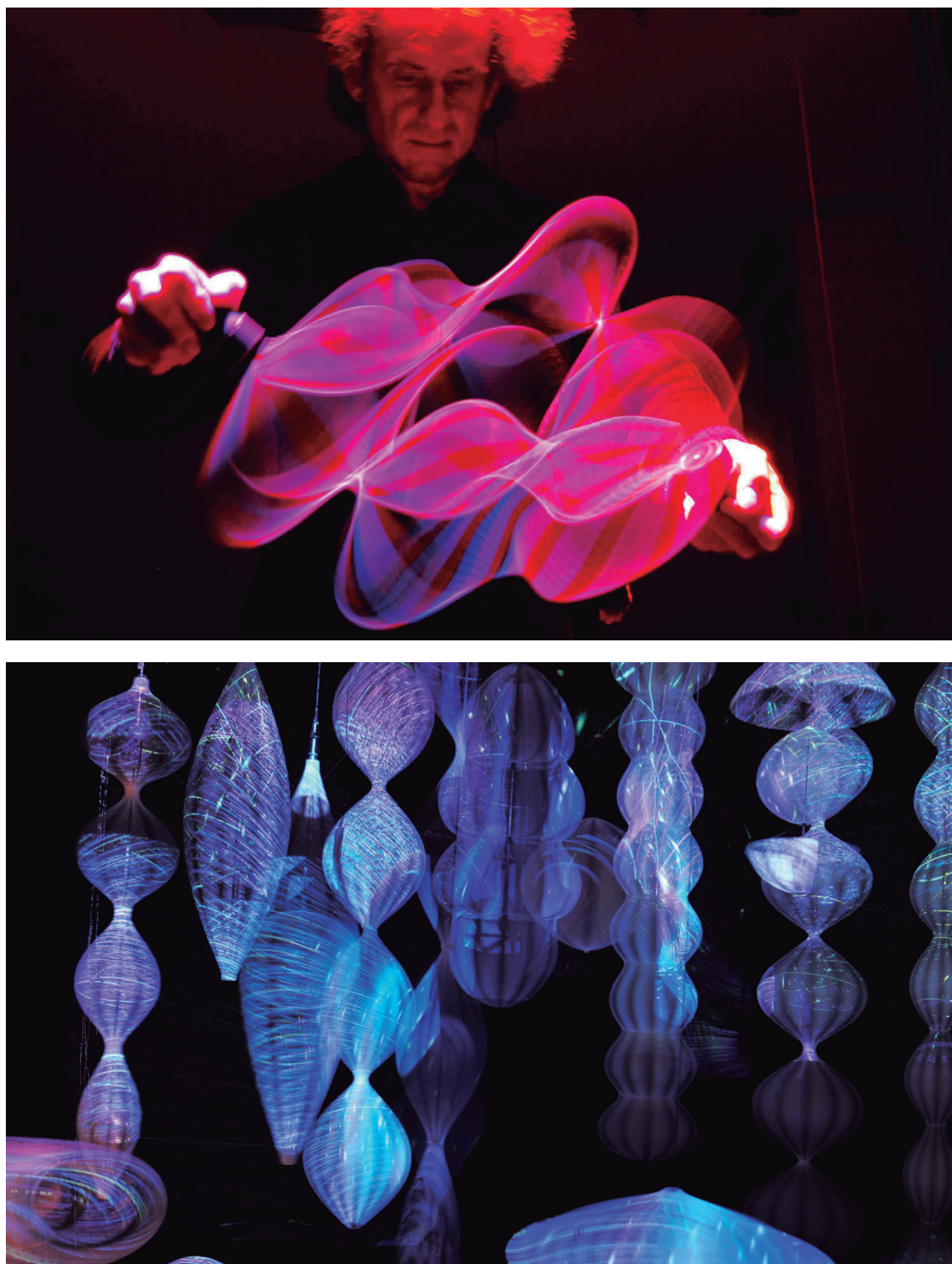


Fig. 92 Esculturas cinéticas de Paul Friedlander (arriba) *“Wave Function”* presentada en Art Futura XXI, bajo el título *“Repasando el futuro”* en Azkuna Zentroa Bilbao, en el 2011 (abajo) *“Spinning Cosmos”* exhibida en la 5ª edición de Art Futura, bajo el título *“Nuestra cultura es digital”*, Museo de Arte Latinoamericano de Buenos Aires, Malba, en el 2012.

5.3 Breve análisis sobre el contexto de la creación artística en el siglo XXI

Los elementos que se han evidenciado en la mayoría de las intervenciones artísticas son:

- La experiencia inmersiva e hiperrealidad. Obsesión con el realismo, donde para ser creíble la reconstrucción tiene que ser totalmente icónica, una copia de la realidad, una fantasía perfecta o para satisfacer las fantasías del subconsciente.
- La interactividad.
- La representación o la exhibición son fundamentales en la construcción de instalaciones.
- La Filosofía *Open Source*. La obra manifiesta pluralidad y puede ser de dominio público. Lo que significa que está abierta a constantes cambios y se sitúa en el plano colaborativo.
- El empleo de los formatos digitales que permiten visibilidad y una rápida difusión. Los artistas han empezado a buscar capacidades técnicas, alterando las ideas tradicionales acerca de la relación entre espectador y obra.
- La idea, los sentimientos o emociones son la materia original en la creación artística.

Como parte de la revolución creativa del siglo XXI, artistas de todo el mundo participan en la creación de experiencias digitales con la intención de estrechar las relaciones humanas con la tecnología a través de las interactividad.

La filosofía de derechos de autor prácticamente ha desaparecido, esto se debe al gran interés de los artistas en conectar y colaborar con las personas, para expresar y lanzar un mensaje a la sociedad.

Para generar este gran impacto social, y vincular a los seres humanos con las nuevas

tecnologías, la mayoría de los artistas comparten sus obras en código abierto para que el espectador pueda ser partícipe de la obra. De este modo, la obra no sólo lleva un nombre sino la de cientos de personas que han colaborado en la obra.

Creo que los datos realmente nos pueden hacer más humanos. Estamos creando y guardando muchísimos datos acerca de cómo vivimos nuestras vidas y esto nos está permitiendo contar algunas historias increíbles. Hace poco un sagaz teórico de los medios tuiteó: La cultura del siglo XIX fue definida por la novela, la cultura del siglo XX fue definida por el cine, y la cultura del siglo XXI será definida por la interfaz. A. Koblin, Mayo 2011, conferencia TED

La accesibilidad y la compatibilidad de los medios ha proporcionado a los artistas una paleta ilimitada y la posibilidad de experimentar con los lenguajes y las convenciones que acompañan a una diversa gama de nuevas tecnologías y disciplinas.

La interacción en entornos aumentados constituye otro aspecto importante, que puede enriquecer las experiencias visuales de los espectadores, quienes pueden participar e interrelacionarse con los gráficos virtuales.

Aquí, el público se establece como parte integral de la obra y pueden generar contenidos o representaciones virtuales desde su imaginación, aunque esto depende de cómo se haya determinado la interfaz. Se conocen las *interfaces tangibles* basadas en el uso de marcas, donde el usuario improvisa desde la imaginación para entrar en la dinámica del juego. Para ello es necesario una instalación para ubicar las marcas enfrente de la pantalla.

A veces, se puede tratar de una proyección de vídeo o video-mapping, es una capa de luz que se superpone y crea una Realidad Aumentada que añade o cambia el significado del espacio, creando efectos ilusorios.

Esta técnica audiovisual ofrece muchas posibilidades expresivas y narrativas, creando una Realidad Aumentada que puede ser muy atractiva e impactante para el espectador. Es por ello que el vídeo mapping en la actualidad, es una técnica que se aplica en diversos contextos: que van desde vídeo instalaciones o vídeo escultura, a espectáculos de luz y color sobre grandes elementos arquitectónicos o estructuras, a modo de eventos culturales, apoderándose del espacio urbano.

Sus aplicaciones son muy variadas, al igual que los niveles de complejidad que puede adquirir. Algunos sorprendentes experimentos en el que se muestra el potencial de esta técnica.

La creación de espacios virtuales 3D y de geometrías que simulan la realidad, hoy en día tan empleadas en vídeo mapping, es fruto del desarrollo de algoritmos que procesan la visibilidad de los objetos y sus cualidades físicas y mejoran los resultados y rendimiento de la renderización, recreando el funcionamiento del mundo real.

Un ejemplo es el corto experimental *As·phyx·i·a* creado por Maria Takeuchi (Japón) y Frederico Phillips (Portugal) en el que la bailarina Shiho Tanaka se transforma en una nube dinámica de datos 3D. *“El espectáculo se basa en una coreografía elocuente que resalta el deseo de poder expresarse sin obstáculos”*, explican los autores de la obra.

La parte realmente interesante de este trabajo artístico es que fue realizado con kinects de Microsoft, herramienta que le ayudó a crear el espacio tridimensional en el que se desenvuelve el bailarina Shiho Tanaka. Los sensores del kinect¹²⁶ (con ayuda de algunos programas) detallan y siguen a la perfección todos los pasos del cuerpo humano.

A continuación se muestran intervenciones que guardan una estrecha relación con la Realidad Virtual y que se han seleccionado por su parecido estético:

En contra de la percepción generaliza del código, Jonathan Minard y James George exploraron nuevas formas de representación para dar belleza a este nuevo medio. Para ello desarrollaron un documental a partir de un sorprendente formato de cine en 3D llamado RGBDToolkit.

126. Microsoft tiene un departamento de desarrollo en este campo. En 2009 presentó el Proyecto Natal, en el que desarrolló el hardware Kinect. Es un sensor de movimiento creado para la videoconsola Xbox 360. Sin embargo, a través de las comunidades *open source*, los usuarios la han hackeado para poder usar el sistema de la forma que ellos quieran a través de la programación. El dispositivo gracias a la luz infrarroja estructurada, invisible para el ser humano, es capaz de detectar la profundidad y el movimiento. De este modo detecta la forma humana en movimiento.

El sistema consiste principalmente en un sensor de profundidad Microsoft XBOX Kinect, que nos permite movernos con libertad y rastrea la imagen en un radio de 360°. Este sensor se encuentra a su vez conectado a una cámara de vídeo de alta definición, de esta manera es como se crea el híbrido entre las dos tecnologías.

Una vez capturada la imagen, se crea un modelo tridimensional que posteriormente puede adaptarse a nuevas perspectivas a través del *software* RGBD (*open source*) desarrollado por ellos mismos.

Este documental titulado *Clouds*¹²⁷ (2014), explora los temas de la creatividad, la invención, el arte interactivo, la simulación, el diseño computacional, la visualización de datos y el futuro de la narración, en el que fueron partícipes más de 30 artistas interdisciplinarios y críticos de arte.

El resultado de este proyecto representa una imagen realista como si las figuras humanas estuvieran metidas en un universo digital basado en código.

Béatrice Lartigue¹²⁸ junto con Cyril Diagne crearon¹²⁹ *“Les métamorphoses de Mr. Kalia”*¹³⁰ para el concurso Devart 2014. Ambos son miembros de la colectivo multimedia Lab212, y se dedican a investigar todo tipo de interacción tanto comercial, artística como pedagógica.

Desde su acercamiento sensible, poético y tangible de diseño interactivo, sus proyectos tratan de capacitar a los usuarios y emitir una idea diferente sobre la tecnología que rodea nuestra vida cotidiana. A través de sus creaciones, que invitan a la gente a pensar en nuestra relación con el mundo en que vivimos y las personas

127. Fuente: [Vimeo] <https://vimeo.com/35858119>

128. El trabajo de Béatrice Lartigue ha sido expuesta en el Barbican Centre (Londres), el Museo Miraikan (Tokio), el Tekniska Museet (Estocolmo). <http://epure.it>

129. Nacido en 1985, en Bagnols-sur-Cèze, Francia. Explora diferentes técnicas que nos rodean para luego fusionarlas, y así crear obras poéticas y poco convencionales con las que ofrece experiencias. <http://cyrildiagne.com>

130. [YouTube] <https://www.youtube.com/watch?v=L07v4rNvKKI>

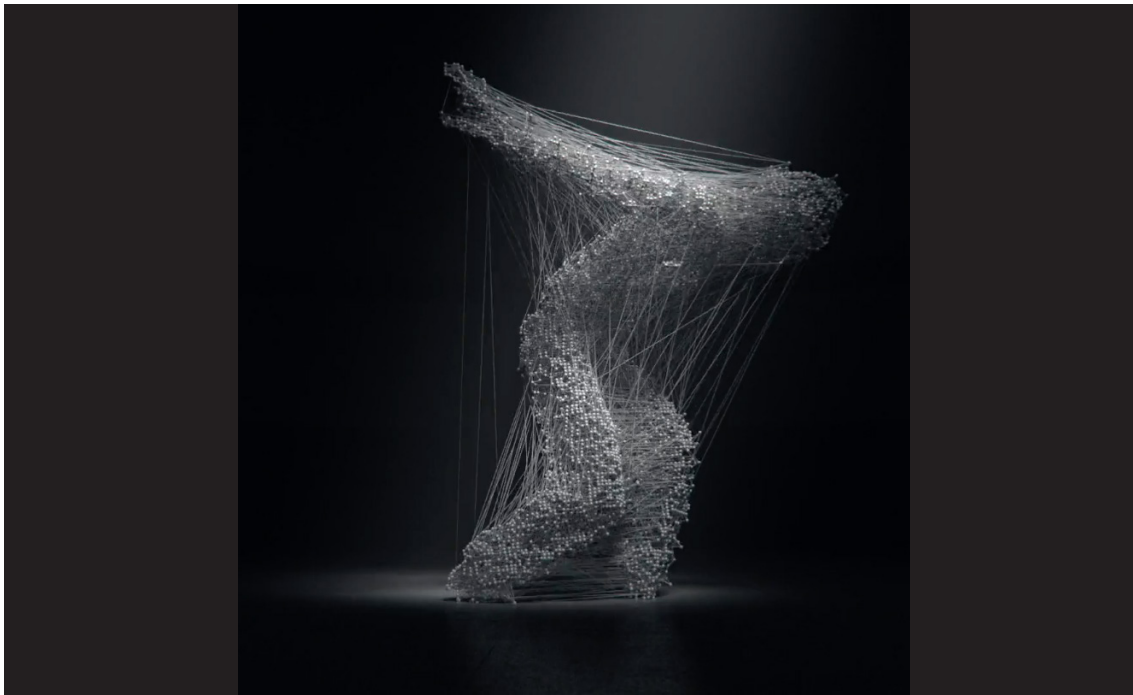


Fig. 93 Proyecto experimental usando Xbox One Kinect para la captura de datos, realizado por Frederico Philips, Samuel Blalark, Jaseon Gerrero, Shiho Tanaka y Maria Takeuchi [Fuente] asphyxia-project.com/gallery

con las que vivimos.

Diagne y Lartigue dejaron volar su imaginación y crearon diferentes tipologías de personajes que responden de manera única ante su “álter ego” físico.

Les métamorphoses de Mr. Kalia (M. Kalia metamorfosis) es una experiencia visual e interactiva cargado de poesía y surrealismo. El concepto de metamorfosis representa la capacidad natural que los animales poseen para cambiar abruptamente su estructura corporal (los cuerpos se enfrentan a muchos tipos de transformaciones: biológicos o artificiales, físicos o psicológicos, causados o infligidos).

El público puede controlar el proceso de transformación con sus movimientos y a medida que supera cada fase, Mr. Kalia transmite sentimientos relacionados con el cambio, la evolución y la adaptación.

La tecnología del Mr.Kalia consiste en una aplicación informática basada en

un algoritmo matemático (conocido como *tracking*)¹³¹ capaz de sincronizar los movimientos del espectador. De esta manera, los visitantes se convierten en este personaje animado.

Aaron Koblin, cabe destacar sus colaboraciones en vídeos musicales, como *House of Cards* (2007), que fue el octavo sencillo *In Rainbows* de la banda *RadioHead*.

“Cuando estaba estudiando para el postgrado en la UCLA, trabajaba en un lugar llamado Centro para la Detección de Redes Embebidas. Y estaba escribiendo *software* para visualizar escáneres láser. Básicamente escaneando movimiento en espacio 3D, y esto fue visto por un director en Los Ángeles llamado James Frost, quien dijo: ¿esto significa que podemos filmar un videoclip sin utilizar nada de video? Así que hicimos eso precisamente.” Conferencia TED Marzo 2011, Aaron Koblin: Visualizando nuestra humanidad artísticamente.

Gracias al director James Frost, las tomas del vídeo se realizaron con dos tecnologías, *Geometric Informatics* es un dispositivo de exploración que, basándose en la estructura de la luz, permite capturar imágenes 3D de objetos y personas en un rango de distancia cercano, como el rostro de Tom Yorke. Y *Velodyne LIDAR*, a su vez, posee 64 láseres girando a velocidad continua (900 veces el minuto) que capturan entornos a gran escala, (como los paisajes exteriores que se exhiben en el video).

De esta manera, se obtuvo una pre-producción menos convencional, ya que en vez de grabar con cámaras de vídeo, se sirvieron de estas tecnologías para escanear objetos físicos y así obtener imágenes digitales en 3D.

Paralelamente al vídeo musical, se realizó una versión interactiva para la página web del grupo, donde el usuario puede interactuar con algunas de las escenas del videoclip. Se trata de un visor 3D con imágenes en 360 grados cuya orientación puede manipularse, así como la posibilidad de desplazarse sobre ellas al ritmo de la música. Aunque se trata de una interacción un tanto primitiva, los cambios de perspectiva permiten apreciar y explorar mejor los resultados de la técnica empleada.

131. Android, Chrome Apps, Google App Engine, node.js, openFrameworks han hecho posible que Béatrice y Cyril puedan crear su tecnología de seguimiento (tracking).

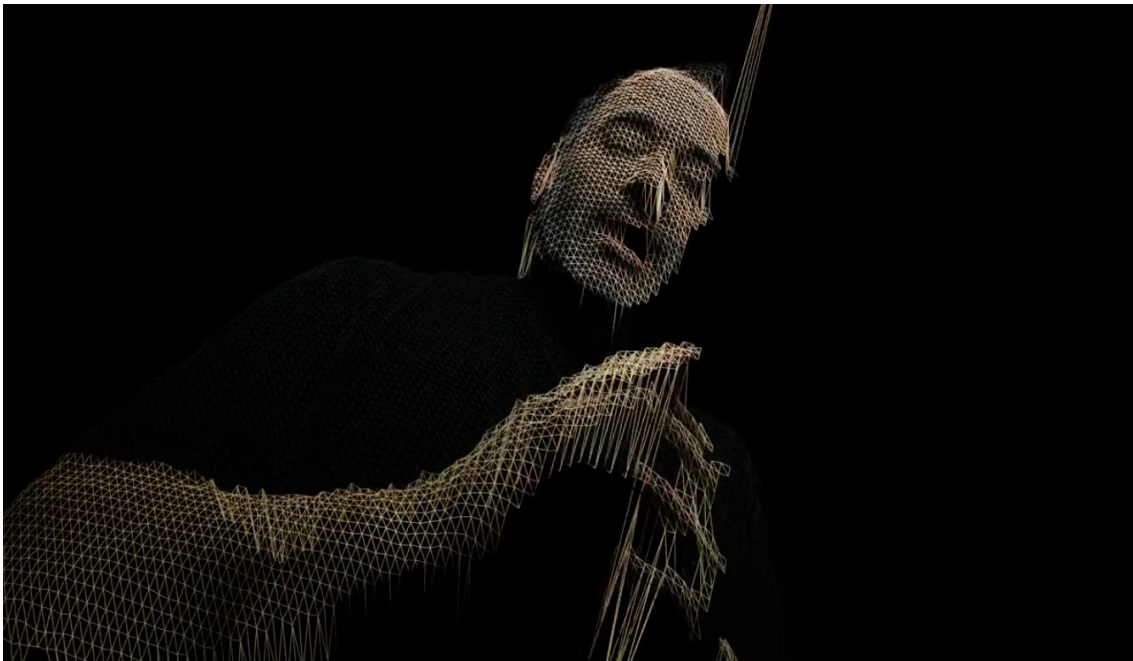


Fig. 94 Vídeo experimental (2012) realizado por James George y Jonathan Minard para la conferencia de FITC, bajo el título “Ask Me Anything”.

La parte curiosa de este proyecto, no sólo fue grabar el vídeo con rayos láser, sino que también el público puede descargar el código fuente y muchos otros datos en Google Code¹³², para que desarrolladores y aficionados pudieran crear sus propias versiones del clip.

5.3.1 La Realidad Virtual como estética de la simulación

La obra de arte siempre se ha planteado como una “ventana” a través de la cual el espectador contempla el mundo imaginario del artista. Sin embargo el arte virtual concibe por primera vez una puerta de acceso para que el visitante pueda estar inmerso e interactuar activamente con este mismo mundo imaginario.

Frente al arte virtual, en la “representación clásica”, el instrumento actúa como un medio para concebir una realidad imaginada anticipadamente o derivada de acciones

132. es un sitio de Google para desarrolladores interesados en el desarrollo Google-related/open-source. El sitio contiene códigos fuente abiertos, una lista de sus servicios de apoyo público y API.

imprevistas e invisibles del inconsciente, es decir no son generadas o creadas a partir de la intuición, o del gesto de la mano, sino que más bien, en las instalaciones inmersivas o interactivas, existe una estrecha autonomía, donde los instrumentos o procedimientos de la máquina influyen sobre la representación de la imagen.

Con lo cual, la estética de la imagen emerge de la existencia independiente de lo humano y se ve envuelta por otros sistemas de creación: la idea es planeada y la construcción es controlada por las órdenes que se generan a través del *software*.

Por otro lado, el interés del artista en recrear nuevas realidades y alcanzar siempre lo inédito no sólo se basa en experimentar nuevas dialécticas a través del funcionamiento simbólico o significativo, sino que se apoya en los amplios procedimientos y nuevos hallazgos que la tecnociencia aporta en la simulación y representación gráfica.

En este sentido, es interesante pensar la diversidad de posibilidades tecnológicas y nuevas fronteras imaginarias que el artista puede asumir y plantear en sus obras o instalaciones.

Como se ha señalado en el apartado 3.3 *La Realidad Virtual* (página 229), las principales características de una obra virtual son la inmersión, la interacción y la imaginación. La interacción, forma parte de uno de los cambios relevantes en la representación artística, en el que la acción de los sujetos es producida (en tiempo real) por el gesto del cuerpo. Un espacio comunicacional que puede ser compartido por varios participantes. Antes, el artista se enfrentaba a representar la tridimensionalidad en formatos bidimensionales, en este caso más allá de una percepción fotográfica se trataba de crear una imagen en movimiento dividida en secuencias, historias ficticias en un espacio-tiempo para despertar la imaginación del espectador.

La interrelación entre el espacio real y el virtual es una tarea de instalaciones desde tiempo atrás, independientemente de las tecnologías empleadas, desde 1960, en los eventos, happenings, el cine expandido, las videoinstalaciones. El propósito no es otro que el de establecer un vínculo entre la corporeidad y el entorno artificial, creado a partir de algoritmos. De esta manera, el visitante reflexiona acerca de la

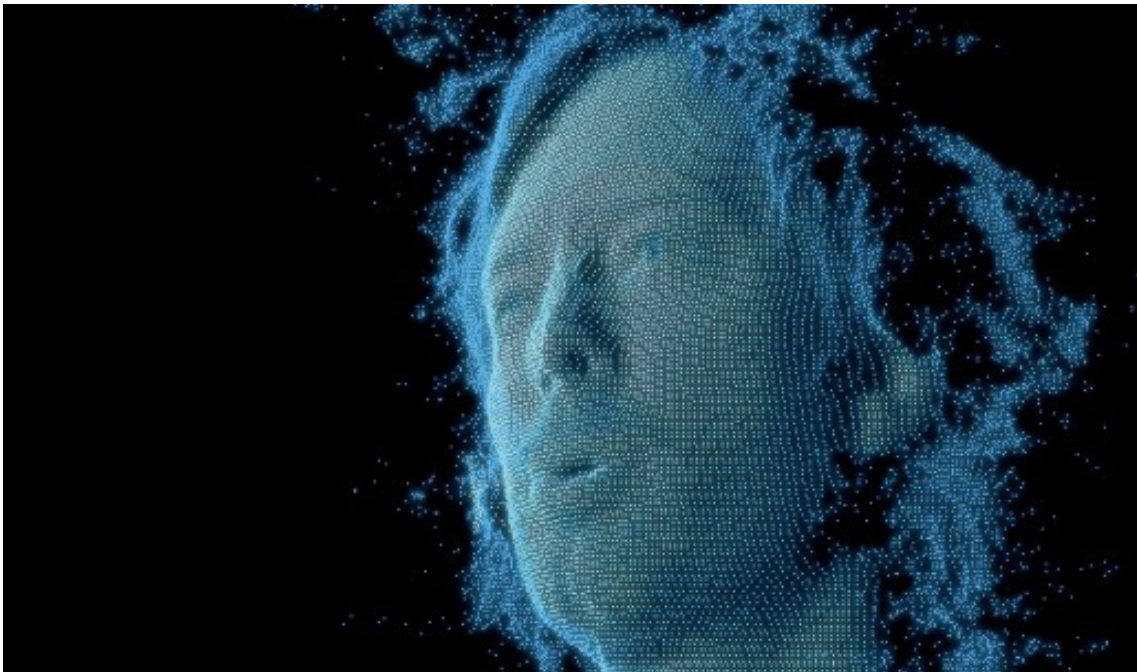


Fig. 95 Vídeo musical interactivo, titulado *"House of Cards"* (2010) realizado por Aaron Koblin y exhibido en el Victoria & Albert Museum, Londres.

relación que ha establecido entre los sujetos artificiales.

En estos mundos simulados, el espectador se convierte en un usuario participativo, donde se mueve entre dos realidades: *realidad de su conciencia*, es consciente de que participa en un juego simulado, y la *realidad de su percepción* que le indica que su presencia y conducta tienen influencia activa en el mundo artificial.

Este entorno, en el que el espectador se involucra, ha sido previamente ambientado por un diseñador. El diseñador o artista es la persona encargada de trabajar estos entornos con total libertad creativa para que puedan ser aumentados. Es realmente importante que los gráficos digitales que el diseñador ha creado deban causar una alta experiencia visual. Para ello es necesario que la precisión de la interacción esté

sincronizada con el dispositivo¹³³, de esta manera juegan con las impresiones del espectador, quien filtra de forma natural, las situaciones que se le antepone.

Además se suma la estética del ambiente virtual, conocido como mundo ficticio, en el que las construcciones digitales deben ser hiperrealistas para que la experiencia espacio temporal del espectador se produzca de una forma creíble.

Aunque es cierto que el diseñador o artista a través de la imaginación exprese o transmita imágenes fluctuantes, una obra virtual no puede entenderse como una representación de algo imaginario, ya que está concebida como una construcción híbrida de mundos simulados, de mundos posibles. Además se encuentra en ella, una gran sinergia entre diversos campos de la creación como la arquitectura, el cine o el sonido.

Esto en esencia, se debe, en gran medida, al reconocimiento de los entornos, por parte de las personas, siempre y cuando sean vivenciados. Por ello, se encuentran más familiarizadas con aquellas imágenes que se asemejan al mundo físico. Por tanto, cuando nos referimos a construcciones de mundo artificiales o realidades virtuales no podemos referirnos a una construcción que se produzca fuera de nuestro sistema cognoscitivo, de nuestra comprensión y relación con el entorno, puesto que los referentes continúan siendo nuestros referentes socioculturales y cognoscitivos o nuestras experiencias del mundo.

De esta manera, las personas reaccionan ante ellas de una forma natural que en el caso de que se proyectara un mundo imaginario cargado de simbolismo a la que no encontramos anexos en nuestra experiencia ya vivida.

Para generar contenidos vivenciales de forma mental y plurisensorial en el campo del arte interactivo, es importante reflexionar acerca de varios factores que pueden

133. Las señales son transmitidas al procesador para que sean inscritas en el interior de un casco provisto de una pantalla, que cubre todo el campo de visión. De esta manera el usuario puede recorrer virtualmente cualquier mundo recreado por el diseñador o modelador gráfico.

afectar en la sensación de inmersión: valorar los recursos tecnológicos, el tipo de información que se va a comunicar y cuales serán los contenidos estéticos.

Hay muchos paradigmas estéticos que emergen en las creaciones de las obras interactivas. Para un artista del *media art* se considera que debe ampliar los marcos conceptuales (multidisciplinar) para conseguir cambiar la percepción de los espectadores a través de la ilusión óptica y de las ideas estéticas.

De esta manera, el espectador deja de ser un observador pasivo, donde no sólo el artista juega con el tratamiento estético de la obra (hipertextualidad y artificialidad), sino con la interactividad, y la comunicación.

Por tanto, la participación activa del espectador pasa a ser un factor constituyente del propio proceso de generación de la obra, es decir, su función podría llegar a ser la de coautor, dependiendo del grado de interactividad permitido.

El observador establece un diálogo con la máquina, manipulando las informaciones audiovisuales o bien generando nuevas informaciones, para que el efecto de la obra interactiva cambie de significado.

En este caso, se necesitaría previamente recrear esta obra cargada de un lenguaje implícito, para que el usuario establezca esa comunicación y así pueda ser partícipe en la interacción.

5.3.2 El Fotorrealismo en el Arte digital

Uno de los motores del desarrollo de la animación digital y de las imágenes generadas por ordenador ha sido la búsqueda de un fotorrealismo que coincida con las formas establecidas de la animación tradicional. En el nuevo milenio, las herramientas digitales tienen capacidad suficiente, son accesibles, y el público ha aceptado que los animadores digitales tengan la libertad necesaria y la seguridad para explorar una paleta más amplia.

La animación “plana” experimentó nuevos matices con la introducción de los elementos tridimensionales generados por ordenador, con los que se han podido producir “movimientos” y “formas” difíciles de crear con otros medios.

La libertad que ofrece la producción digital no sólo permite una mayor flexibilidad en el diseño, sino que al mismo tiempo surge una nueva manera de considerar la forma gracias a la influencia e integración de otras tecnologías o técnicas tradicionales. El resultado de este espectro, es una amplia gama de animación con una estética digital o con fuertes influencias de otros campos, como el diseño gráfico, el cine o la música.

Sin embargo, la combinación de estas técnicas o la idea de ampliar los procesos de creación con las herramientas digitales, no fue muy aceptada por la comunidad artística en sus comienzos.

En el cine en particular, tuvieron cierta reticencia y algo de miedo a enfrentarse al trabajo digital, sobre todo con el 3D. Por ello muchos animadores tradicionales se negaron a trabajar en películas con estos avances, aduciendo que esta novedad produciría la pérdida de sus puestos a corto plazo.

Afortunadamente para los artistas digitales, el ámbito de la industria y el de la ciencia fueron más comprensivos que en el mundo artístico. Fueron las compañías e instituciones como IBM, MIT y Xerox, quienes comprendieron el valor de la diversidad y adoptaron ideas provenientes de otros ámbitos, y animaron a los artistas creando residencias universitarias, becas y ayudas técnicas para experimentar con ordenadores.

Esta inquietud del hombre para encontrar la fórmula exacta del fotorrealismo, tiene un extenso recorrido. Aunque si analizamos la historia, realmente el momento culminante ha sido aquel en el que fue impulsado por la digitalización de los medios.

Las imágenes secuenciales de Eadweard Muybridge sirvieron como punto referente para la mecánica básica de la producción cinematográfica¹³⁴; sin esta aportación teórica o sin las bases de cualquier proceso a priori, no hubiera sido posible madurar y progresar en dichas teorías.

En cierto modo, en la historia cinematográfica, podemos observar cómo los nuevos medios han permitido una fácil transferencia de material en las técnicas cinematográficas.

En esta línea, es necesario resaltar la existencia de muchos puntos de referencia. Expondremos algunos ejemplos para clarificar cómo las técnicas tradicionales han evolucionado gracias al desarrollo tecnológico.

La naturalidad de la representación virtual y la creación de las geometrías en 3D (para que encajen con la perspectiva de la fotografía), no llegaron hasta la década de los años ochenta, principalmente con la llegada del cine digital. En ese momento es cuando los productores empezaron a experimentar con efectos visuales generados por ordenador.

Tron, una película de ciencia ficción dirigida por Steve Lisberg y producida por los estudios *Walt Disney Productions* en 1982, fue la primera película que introdujo imágenes generadas por ordenador para emplearlas en combinación con secuencias formadas por los personajes de la película.

134. Así lo afirmó el cineasta Chris Milk en una charla en la TED Talks con el título *How virtual reality can create the ultimate empathy machine* (Marzo 2015, VancouverBC). Un discurso muy similar al de Kevin Kelly, que ya mencionamos en el primer capítulo, donde expuso como ejemplo el análisis de movimiento de Eadweard Muybridge.

Cuando *Disney* comenzó la producción de la película *Tron*, contrataron a cuatro compañías para crear los gráficos de las escenas virtuales *Triple-I*, *MAGI*, *Robert Abel and Associates*, y *Digital Effects* (DEI), aunque realmente los responsables de los 32 minutos de animación generada por ordenador fueron *Triple-I* y *MAGI*.

En parte, Dave Poole, especializado en diseñar dispositivos informáticos, junto con la financiación de la empresa *Information International Incorporated* (comúnmente conocida como *Triple-I* o *III*) (1962-1982) construyeron el ordenador *Super Foonly F1*, del que sólo existe un prototipo con un software llamado *Digital Scene Simulation*, creado en 1979.

En 1986, la película fantástica *Labyrinth* (1986) dirigido por Jim Henson, para producir la secuencia de apertura (opening) con una duración de dos minutos y medio, donde aparece volando una lechuza digital. Fue el primer intento de crear una visión realista CGI de un animal. Los primeros intentos de Henson para lograr este efecto, no tuvieron mucho éxito, e incluso trató de emplear uno de sus muppet.

Finalmente, la secuencia fue creada por Bill Kroyer de la compañía *Digital Productions* (Los Ángeles, 1982-1987).

Uno de ellos, la creación de dinosaurios de aspecto real para la película *Jurassic Park* (en español, *Parque Jurásico*, 1993) de Steven Spielberg, que ejemplifica la influencia y la velocidad de la evolución digital. El equipo de expertos informáticos de ILM escaneó los modelos físicos animatrónicos para generar la piel de los dinosaurios y el estudio Tippett creó un armazón de gran tamaño que incorporaba sensores para generar datos que después utilizarían los animales digitales. Este artefacto, fue denominado *Dinosaur Input Device* (DID)¹³⁵, estaba montado sobre un jib (estructura con contrapeso) de control de movimiento para que los movimientos que sean más

135. Fue desarrollado por Craig Hayes (Tippett Studios), Brian Knepp Rick Sayre (Industrial Light and Magic), Rick Sayre (estudios Pixar), Thomas Williams (Industrial Light and Magic), en 1993. Publicado en *Proceeding CHI '95 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp 304-309

amplios se pudieran programar en la plataforma de imitación de vuelo (*flying rig*)¹³⁶. El *Dinosaur Input Device* (DID) es un icono físico de la transición de la tecnología para efectos especiales de la animación analógica a la digital.

Otro ejemplo, gracias a los esquemas de aproximación de los trabajos del científico Catmull-Clark y Doo Sabin en 1978, es el método de subdivisión de superficies¹³⁷ en la representación tridimensional, cuyos algoritmos han facilitado el modelado de figuras complejas, y ha aportado suavidad y detalle en las superficies. Algo esencial, que sin él no hubiera sido posible, antojándose clave para la representación del modelado.

O incluso cuando el mismo Edwin Catmull¹³⁸, en su trabajo de doctorado sobre problemas de renderización en la Universidad de Utah, reflejó su desarrollo del motor de renderizado de imágenes conocido como *RenderMan* en 1980, cuando se encontraba trabajando en la compañía *Pixar*, junto a Steve Jobs y John Lasseter.

El Renderizado es el paso de modelos 3D-*wireframe* a imágenes que pueden o no ser fotorrealistas. Desde que se utilizó por primera vez, en el cortometraje de *Tin Toy*, se ha extendido en todas las áreas de modelado, y ha sido una herramienta importante en la creación digital de películas (como *Abbyss*, *La Bella y la Bestia*, y *La muerte os sienta tan bien*).

Además, desde finales de los años 80 y principios de los años 90, se viene desarrollando las herramientas de los *software* o *plugins* para mejorar el realismo visual y los efectos de movimiento en los gráficos, como la simulación de la tela,

136. Además de efecto escénico, también es un sistema de líneas y contrapesos, muy apreciado en el teatro

137. La mayor ventaja que presenta es la capacidad de modificar el nivel de subdivisiones de la malla, tanto durante el proceso de modelado como al hacer el render. Proporcionan la suavidad de los NURBS con las características locales de detalle y textura de las mallas poligonales.

138. Catmull, Edwin Earl (1974). *A subdivision Algorithm for computer. Display of curved surfaces*. Universidad de Utah, Departamento de Ciencias de la Computación.

la creación de partículas como pueden ser los fluidos y los efectos de fenómenos naturales (como el humo, la niebla y el fuego), la creación de pelo (además de la iluminación y el desarrollo de nuevos motores render) han sido prioritarios para las grandes producciones filmatográficas.

A inicios de la década del 2000, las imágenes CGI dominan el campo de los efectos especiales, hasta el punto de que es posible sustituir digitalmente a los actores por actores virtuales. La evolución de los materiales técnicos (como los marcadores o sensores faciales) y los sistema de captura de movimiento (del inglés *motion capture*, o *motion tracking*, también abreviada *mocap*)¹³⁹ han sido capaces de reproducir todas las emociones humanas, para que posteriormente un ordenador se encargue de crear un ser digital en tiempo real.

Durante la conferencia *SIGGRAPH 2013 Realtime Live* la empresa de videojuegos estadounidense *Activision* junto con la Universidad del Sur de California (*USC*, por sus iniciales en inglés *University of Southern California*) presentaron un proyecto llamado *Ira*¹⁴⁰, utilizaron el sistema creado por la *USC* llamado *Light Stage X* que emite 20 patrones de luz sobre el rostro y con una serie de fotografías es posible obtener un modelo 3D de alta resolución junto con texturas de una persona. El resultado fue un rostro digital capaz de reaccionar en tiempo real a las expresiones del usuario.

Desde entonces, las fantasías son cada vez más realistas, pero el fotorrealismo no sólo es uno de los desafíos que desde siempre se ha planteado; se quiere dejar de observar a través de una ventana, liberarse de la televisión y contemplar la tridimensionalidad en su estado puro. Por tanto, las sensaciones cognitivas y la necesidad de palpar la Realidad Virtual pasaron a un primer plano. Esto ha hecho que desde hace años se han venido creando diversos dispositivos con la certeza de evolucionar en los

139. Técnica de grabación de movimiento, basada en la fotogrametría.

140. USC Institute for Creative Technologies y Activision Inc. (2013). Digital Ira: Creating a Real-Time Photoreal Digital Actor. *SIGGRAPH 2013 Realtime Live*. New York, NY, USA

efectos visuales a través de la inmersión y la interactividad.

Hasta ahora, la mayor apuesta es por el desarrollo de los *displays* de Realidad Virtual. Por lo que se espera una gran aceptación social, sobre todo a nivel productivo de estandarización.

Chris Milk, es en la actualidad, fundador y CEO de *Vrse.inc*, una compañía de tecnología especializada en Realidad Virtual, además es fundador y director creativo de su empresa hermana *Vrse.works*, una productora de Realidad Virtual donde se cuentan historias a través de esta tecnología.

[...]Una película es un medio excepcional de comunicación...pero básicamente no ha cambiado con el tiempo....Hicimos cosas increíbles con esos fotogramas, pero me puse a pensar, si hay alguna manera de usar tecnologías modernas y emergentes para contar historias de maneras diferentes... y que tal vez yo no podía contar usando las herramientas tradicionales de cine que hemos estado usando desde hace 100 años. Así que empecé a experimentar y estaba tratando de contruir la máquina de la empatía[...]
[...]Todos los medios visuales, la televisión, el cine son ventanas que nos transportan a otros mundos, pero pensé que quería mirar a través de esta ventana, inmerso en el otro lado, viviendo esa realidad. Eso es lo que me impulsó a la Realidad Virtual[...]
(Chris Milk: De cómo la Realidad Virtual puede crear la máquina de empatía definitiva).
Fuente:https://www.ted.com/talks/chris_milk_how_virtual_reality_can_create_the_ultimate_empathy_machine?language=es

El trabajo de Milk, demuestra que los artistas y creadores han empujado a la técnica del mismo modo que la técnica ofrece nuevas posibilidades que los creadores aplican a sus creaciones, facilitando los procesos y llevando sus creaciones a dimensiones antes imposibles. Un ejemplo es su vídeo *Clouds Over Sidra* (Nubes sobre Sidra), que forma parte de la primera serie de experiencias de Chris Milk y fue diseñado para los dispositivos de Realidad Virtual, en concreto para su empresa *Vrse*. Para su realización dentro de los parámetros de la Realidad Virtual no se emplean cámaras de vídeo corrientes, sino que más bien emplea un sistema que integra varias cámaras 3D y micrófonos estéreo. Este sistema capta el mundo en forma esférica en 360°, cada fotograma es filmado en todas las direcciones, obteniendo así toda la información a pantalla completa.

En este proyecto Milk colaboró con las Naciones Unidas y el estudio *Vrse*, quienes se

fueron a un campo de refugiados sirios en Jordania y filmaron la historia de una niña de 12 años llamada Sidra. Ella y su familia huyeron a Jordania a través del desierto sirio, y viven en este campamento desde hace más de un año y medio.

Las personas que vieron el documental quedaron conmovidas ante la situación que el dispositivo les hacía vivir de una forma más profunda y real al poder empatizar con la protagonista del documental.

La inmersión que ofrece la Realidad Virtual, es una vertiente llena de grandes posibilidades. La sociedad necesita “empatizar”, algo que ya no es posible con los medios tradicionales. Tal vez sea la pérdida de transmisión, la verdadera impulsora de la búsqueda de las sensaciones reales.

Capítulo 6

El museo holográfico y virtual: sistemas tecnológicos

Durante el siglo XXI, el desarrollo de los sistemas tecnológicos y las aplicaciones basadas en contenido didáctico y sensorial en el ámbito museístico han supuesto una ruptura con las instalaciones tradicionales, caracterizadas por intentar preservar restos culturales¹⁴¹. Absteniéndose de explicar los procesos y técnicas con los que la pieza exhibida había sido concebida por el artista. Esta actitud conservacionista convertía la obra de arte en un mero objeto acumulativo, tratada en ocasiones más como una mercancía que como una obra única, subjetiva y cargada de simbolismo espiritual y artístico.

A lo largo de la historia el Museo ha sido y es una institución cambiante que, como ente cultural, ha estado al albur de los cambios sociales, económicos y políticos.

Durante un tiempo, la política cultural ha buscado afianzar la identidad de la ciudad, convirtiendo los Museos en rentables negocios. Estos han pasado a ser el lugar más importante para la congregación pública, un lugar de excursión y peregrinación, comparable con el centro comercial pero con un aura de prestigio social del que este carece. Al residir el éxito de la ciudad postindustrial en el movimiento turístico que genera, la relación establecida entre el tiempo de ocio y la economía coloca al museo en el centro de la ecuación.

A partir de la década de 1960 los museos sufrieron una transformación en la organización interna que provocó la adopción de nuevas estrategias en el desarrollo de las tareas museísticas. Los dirigentes museísticos de la nueva generación se centraron en promover el valor cultural del centro y sus obras, uniendo la contemplativa y la intelectualidad, sustituyendo el carácter masivo e industrial que había ido adoptando el museo en épocas anteriores. Para ello comenzaron a cuidar el contenido del mensaje que transmiten las propias piezas de la colección, resaltando su carácter de obra única, personal, intencional, etc.

141. El origen de las colecciones y de los museos se explica a que desde siempre el ser humano ha estado obsesionado por poseer obras de arte.

Existe cierta discrepancia acerca del origen y la procedencia de esta nueva forma de afrontar la gestión museística. Algunos autores la remontan en las exposiciones internacionales celebradas durante el siglo XIX, si bien otros consideran la aparición de los gabinetes de modelos mecánicos y objetos naturales de los siglos XVII y XVIII como primer ejemplo de esta tendencia.

En 1794, el *Conservatoire des Arts et Metiers* de París fue el primer museo del mundo de ciencia y técnica. Todas las piezas conservadas ofrecían una visión global de la creación técnica y eran presentadas de forma didáctica.

En las últimas décadas de este periodo, coincidiendo con el movimiento de la arqueología industrial, los museos adquirieron un gran desarrollo, posibilitándose una exhibición mucho más ambiciosa y completa que en las etapas previas de la museística.

El Museo no sólo es una mera herramienta de la presentación experimental de lo sensible, sino que se ha convertido en el principal instrumento de las ciencias cognitivas aplicada a los efectos sensoriales.

Las instituciones estudian el comportamiento del espectador, no sólo con la intención de ampliar su visión cultural, sino también para captar su atención a través de las propuestas de ocio cultural y las innovaciones y facilidades que ofrecen los recursos tecnológicos: pantallas táctiles, medios audiovisuales, paneles explicativos, etc.

Esta estrategia no deja de ser una opción deliberada, una tipología, asociada inevitablemente a la plasticidad (bellas artes y arqueología, entre otras manifestaciones).

En la segunda década del siglo XXI nos encontramos ante un nuevo paradigma museístico moldeado por las condiciones y circunstancias del factor digital y las nuevas tecnologías. Esta condición, que ha sido clave en los procesos de renovación del museo -tanto en el plano conceptual como en el físico y estratégico- constituye una redefinición del museo como intérprete y agente promotor de la cultura.

Este modo en que los museos se aproximan al medio digital también tiene que ver

con el cambio conceptual experimentado por la propia web¹⁴². Su valor ya no se encuentra en la capacidad de almacenamiento de datos, sino en su potencialidad para funcionar como entorno intelectual.

Con motivo de ampliar la intelectualidad remota surgen nuevas técnicas de exploración: los mundos moldeables son posibles en los espacios virtuales gracias al desarrollo de los procesadores, donde se determina la interactividad con el espectador.

En consecuencia con esta nueva tipología de museo virtual, emerge la “*virtualidad del arte y del museo*”, con nuevos campos de estudio en los que se han centrado las estrategias de difusión, en su modo de reafirmar la identidad corporativa de la institución.

Debemos señalar que los museos virtuales no suponen una competencia real con los museos tradicionales, pues nunca podrán sustituir la contemplación física de una obra, pero son un instrumento fundamental para acercar las manifestaciones artísticas a la sociedad.

En esta línea cabría preguntarse los motivos que llevan al museo virtual a no sustituir nunca a la institución tradicional. En primer lugar, las nuevas tecnologías carecen de dimensión sensible y demuestran una fragilidad heurística. Una fórmula codificada por muy precisa que sea, no deja de ser una serie de cifras y por tanto no se considera como un equivalente satisfactorio de un cuadro, de una escultura, de un monumento o de un objeto de arte como un mueble, porque, en efecto carece de la dimensión intuitiva sensible.

La función del Museo Institucional es presentar las obras originales dándole la importancia que tienen como patrimonio nacional, con la obligación de encargarse de su conservación, restauración y procesos de limpieza asumiendo la responsabilidad

142. Internet, ha supuesto un fenómeno cultural sin precedentes que posibilita la difusión gratuita de imágenes y contenidos artísticos de todo tipo. Supone una realidad cultural marcada por los ideales libertarios y humanistas que retoma los viejos anhelos de una comunidad igualitaria, participativa y abierta.

que todo esto conlleva; mientras tanto, los museos virtuales banalizan las obras intentando representarlas en la medida de lo que puedan acercarse a la realidad, quedándose en algunos casos en meros simulacros creados para maximizar la difusión geográfica y la accesibilidad de las piezas, pero al alto precio de eliminar toda la personalidad y simbolismo de la obra original.

En ocasiones, sin embargo, cumplen una importante función como ayuda para preservar originales.

6.1 El Museo Virtual

Un museo virtual¹⁴³, es una entidad digital basada en las características que definen a un museo, o una parte de un museo, y caracterizada por el uso de medios informáticos para mostrar, preservar, estudiar, reconstruir y divulgar el patrimonio material o inmaterial de la humanidad (fuerza y estímulo para el desarrollo cultural).

Un museo es una institución permanente, sin ánimo lucrativo, al servicio de la sociedad y de su desarrollo, abierta al público y que lleva a cabo investigaciones referentes a los testimonios materiales del hombre y de su entorno, los adquiere, los conserva, los da a conocer y especialmente los expone con la finalidad de promover el estudio, educar y deleitar. ICOM¹⁴⁴ (Consejo Internacional de Museos, en inglés International Council Of Museums).

Normalmente, los museos virtuales pueden funcionar como la huella digital de un museo físico, enfocados en complementar, mejorar o aumentar la experiencia del museo a través de la personalización, interactividad y riqueza de contenido. Es decir, actúan como un complemento interactivo, el cual supone un componente

143. Son numerosas las exposiciones online que se han quedado activas, aún se pueden encontrar muestras con muchos años de antigüedad, ya sea en espacios independientes o institucionales, aunque los enlaces han dejado de funcionar, debido a las actualizaciones de código.

144. El Consejo Internacional de Museos, creado en 1946, es la única organización de museos y profesionales de museos con alcance mundial dedicada a la promoción y protección del patrimonio cultural y natural, presente y futuro, material e inmaterial.

enriquecedor e importante a partes iguales.

En ocasiones, se pueden encontrar en la red instituciones totalmente virtuales, que carecen de sede física y existen únicamente en internet, caso en el cual se nos hacen más especiales y relevantes sus aportaciones ya que sólo existe acceso a ellas a través de la red, siendo esta la forma más pura de museo virtual. Estas entidades mantienen el estatus de autoridad otorgado por el *Consejo Internacional de Museos* (ICOM) en su definición de un museo.

Antes de que existiera la web, hubo proyectos de protomuseos virtuales, tales como el conocido proyecto que lanzó *Apple Computer* en 1992. Se trataba de un CD-ROM que fue distribuido gratuitamente en todo el mundo para escuelas, universidades y museos. El museo sólo constaba de una planta, con un atrio y cuatro salas de exposición (medicina, plantas, astrología y medio ambiente). En cada sala había estatuas (Objetos 3D lisos) y pinturas (objetos dotados de texturas). Como la restitución se hacía fuera de línea, hubo que desarrollar una guía para que el visitante pudiera deambular por el museo. Además algunas obras fueron creadas *in situ*, y para otras se emplearon bases de datos que ya existían.

Con el paso del tiempo, los investigadores se dieron cuenta que la calidad gráfica en tiempo real debía contener un nivel excelente para que el espectador la acogiese como sustituto de un museo real. Además, deseaban que fuera accesible a todo el mundo, por lo que se mejoraron los aceleradores gráficos y la sofisticación de los equipos informáticos, permitiendo al usuario visualizar imágenes en alta definición en tiempo real. Gracias a la comunicación digital y global, existe una gran accesibilidad a los entornos virtuales e interactivos.

Los medios informáticos que se suelen emplear en entornos virtuales e interactivos en la actualidad son los siguientes:

- Entorno basado en panorámicas de 360°: se trata de una simulación de un espacio tridimensional basada en fotografías que conforman las panorámicas sobre las que se puede interactuar. El movimiento de la cámara sólo gira en

360°, por lo que la interacción es muy reducida, aunque la calidad gráfica es más real.

En España encontramos algunos ejemplos como la exposición del Impresionismo realizada en la Fundación Mapfre o la visita virtual del Museo Sorolla.

- Entorno basado en modelado 3D: Como ya se ha indicado en otros apartados, la creación de un espacio tridimensional se realiza mediante el tratamiento de un *software* de edición. La presencia virtual del usuario y su interacción con ella alcanza una libertad sin límites.
- Actualmente, en estos entornos se suele emplear el archivo de texto estándar X3D para la representación de gráficos por ordenador en 3D, y está diseñado particularmente para el World Wide Web. Es el sucesor del Virtual Reality Modeling Language (VRML), pronunciado *vermis* por sus siglas.

Los museos virtuales rompen los límites físicos y el alejamiento geográfico, con el propósito de facilitar su contemplación por parte del usuario y el disfrute de sus piezas de manera no presencial. De esta manera, los usuarios pueden estar en contacto con museos extranjeros desde sus hogares, a través de la red, enriqueciéndose sus conocimientos culturales, de una forma rápida e instantánea. Un ejemplo de museo virtual ampliamente desarrollado es la página oficial del Museo del Traje¹⁴⁵, que permite acceder a las salas del Museo y realizar un recorrido de la exposición permanente, pudiendo además cliclar sobre cualquier traje para informarte sobre su contexto histórico.

Un conocimiento previo al que los usuarios pueden acceder libremente y que puede servir para convertir a los visitantes virtuales en futuros visitantes del museo físico. De hecho los gestores museísticos no deberían caer en el error de darle un papel

145. El Museo del Traje, CIPE2, es una institución de reciente creación, precedida por la larga existencia de su colección. En 1925, tuvo lugar la Exposición del Traje regional en el Palacio de Bibliotecas de Madrid, momento en el que se planteó convertir dicha exposición en un Museo del Traje regional e histórico, que después se convertiría en el Museo del Pueblo Español y posteriormente en una de las sedes del Museo de Antropología. Finalmente, en el año 2004, se crea el Museo del Traje.

sustitutivo al museo virtual frente al físico, centrándose como en el caso del Museo del Traje en convertir la virtualidad en una herramienta al servicio del museo físico como captador de atención e interés del potencial usuario.

Es obvio que si el museo tiene razón de ser, ésta no es otra que el acceso sensorial directo a la pieza expuesta; una paulatina sustitución del museo físico por el virtual conllevaría una crisis sin precedentes para el propio concepto de museo en toda su extensión. Resumiendo, una herramienta complementaria y de refuerzo para la entidad matriz, que es como hoy en día podemos definir al museo virtual, nunca debería perder esta función; por ello los gestores museísticos deben evitar que se les vaya de las manos una legítima vocación divulgadora global que, mal controlada, podría suponer que la herramienta virtual fagocitara al propio museo, viéndose así el todo empobrecido por las partes.

6.2 La difusión del museo en las arquitecturas digitales

Durante la primera fase de la web, dominada por el paradigma informacional y la base de datos, los museos se aprestaron al registro de sus colecciones y de sus actividades. Esta práctica de “la digitalización”, generó una necesidad en todas las instituciones de carácter cultural, además de fomentar la aparición de otros museos intangibles. Con ello se había iniciado en los museos una nueva era, donde el desarrollo de contenidos y la generación de imágenes se elaboró bajo los estándares digitales.

Hablamos de una tarea hacia la que se han enfocado muchos esfuerzos en los últimos años, tanto por parte de las propias instituciones museísticas como de asociaciones culturales, investigadores y gobiernos. Aunque este empeño tiene unos sobrecostes importantes tanto en actualizaciones informáticas, como en adaptaciones digitales.

El museo digitalizado cobró tal relieve en los últimos años que se han llegado incluso a desplazar, desvirtuadas con respecto a su origen, algunas de las *misiones fundacionales* (funciones esenciales) de los museos. Estos han dejado de tener un carácter privatizado,

despojándose además de los valores más sólidos (representan los términos de la expresión artística) que la institución normalizó como elemento canonizador.

Las estrategias de difusión de los museos se basan en aprovechar la potencialidad del espacio digital, un lugar democratizado donde el usuario puede obtener información sobre las piezas, realizar una visita virtual o consultar bibliografías y catálogos de exposiciones.

Al hilo de esta nueva ola en el mundo museístico, se pusieron en marcha varios proyectos con el objetivo de preservar el patrimonio cultural y aportar recursos educativos a través de la reconstrucción virtual.

El ICOM consciente de los cambios que se estaban produciendo en nuestra sociedad, intenta vincular los museos a los avances técnicos e informáticos. Así en 1950, creó el CIDOC (*Comité Internacional del ICOM para la documentación*), que integra un grupo especializado sobre multimedia en Internet para elaborar la idea de colaboración entre los museos.

Hay museos que forman colectivos o redes en línea con el objetivo de hacer accesibles los contenidos digitales, creando así un espacio de difusión cultural. En casi todos los países se ha llevado a cabo la introducción de estos sistemas informáticos, siendo algunos ejemplos de ello CERES (*Red Digital de Colecciones de Museos de España*), HISPANA (realiza funciones similares a las de Ceres) o EUROPEANA, que abarca una gran cantidad de museos en toda Europa.

En ocasiones la complejidad de los gestores informáticos no permite avanzar en la homologación de las diversas bases de datos. Los museos, en su deseo de estandarizar un patrón multimedia para mostrar todas las colecciones del mundo, lanzaron el proyecto *Art Project*¹⁴⁶ de Google en febrero de 2011, donde se han

146. Acceder en la página googleartproject.com

asociado más de 150 museos de todo el mundo tales como la Tate Gallery de Londres, el Metropolitan Museum of Art de Nueva York, los Uffizi de Florencia o el Museo del Prado de Madrid. Se trata de un recurso digital donde el usuario puede establecer un acercamiento a las obras de dichas colecciones. Además permite al usuario captar al detalle las obras artísticas, ya que las imágenes se muestran en buena resolución. Cabe añadir que, en los museos que tienen un convenio con *Google Art*, se permite al usuario disfrutar de un tour virtual por las galerías basado en las panorámicas de 360°.

Otra manera de acceder a la documentación digital de los museos es a través de las apps desarrolladas por las mismas instituciones, o bien a través de empresas especializadas en el sector de la digitalización.

EL Museo Thyssen, a través de su página oficial, ofrece una serie de servicios online¹⁴⁷ con los que el visitante puede descargar diferentes aplicaciones desarrolladas para tabletas y teléfonos inteligentes. Con su ayuda el visitante puede: ser informado de todas las actividades del museo, disponer de información detallada de las obras, puede prepararse rutas o propuestas temáticas para visitar el museo y también se incluyen visitas virtuales. En el área de Educación del Museo hay otras aplicaciones con fines didácticos, como *Crononautas*, donde se promueve la participación lúdica a través de la Realidad Aumentada. Los usuarios podrán viajar en el tiempo a través de los cuadros, conocer curiosidades del palacio de Villahermosa y a personajes importantes relacionados con su entorno dentro de una trama de aventura.

La aplicación sirve de complemento e hilo conductor en el recorrido tanto de manera presencial como a través de las obras en la visita virtual al Museo, de esta manera el visitante puede tener un mayor conocimiento de las obras y de su contexto histórico. Una peculiaridad de una de las aplicaciones que se exhibe en la web del Thyssen, relacionada con la obra *Retrato de Giovanna Tornabuoni*, es una sección llamada *Descubre* donde el usuario puede deslizar su dedo por la pantalla para que aparezca

147. Tiene una sección conocida como Apps y Comunidad. Aquí hay una sección llamada *El Museo en tu móvil*.

una capa de Rayos X, infrarroja y ultravioleta sobre la pintura y así descubrir lo que Domenico Ghirlandaio pintó debajo. Es una manera de profundizar en la técnica pictórica del artista implementada con vídeos, imágenes y fichas que completan y acompañan este magnífico estudio, realizado por los Departamentos de Pintura Antigua y de Restauración del Museo Thyssen-Bornemisza de Madrid, de uno de los grandes tesoros de la Historia del Arte.

En definitiva, gran parte de los documentos históricos conservados en internet no sólo son una representación informática de los contenidos, sino que además permiten facilitar el acceso, mejorar la organización interna y localizar los contenidos digitales. Acudir a La Red es una práctica que cada vez es más frecuente entre los investigadores de la comunidad científica. Por otro lado, con la informatización los contenidos pueden sufrir un proceso lento de autodestrucción, por lo que siempre existe un riesgo de pérdida cuando se trata de sistemas de almacenamiento digital. Por tanto, nos encontramos ante una representación digital sobre la que se asienta una parte muy importante de la información cultural, algo que exige una gran responsabilidad en el cuidado de los datos.

Un espacio que, por otra parte no deja de ser un catálogo al uso basado en criterios de estructuración tradicional.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que la informática documental, no tiene en cuenta más que los aspectos extrínsecos y, aunque es cierto que permite construir un conocimiento digital además de facilitar la búsqueda con una mayor rapidez a partir de criterios cruzados, no restituye la estructura de la imagen, el vínculo morfológico implícito que permite establecer parentescos; no vehicula ningún conocimiento real del producto artístico (aun digitalizada, una imagen puede seguir perteneciendo a los sustitutos analógicos). Por tanto, es importante que la catalogación digital no sólo constituya un conocimiento objetivo y racional de los procesos, sin ser una mera introducción documental.

En la actualidad, el museo se encuentra en un proceso de tránsito de experimentación de nuevas posibilidades, en el que se advierte todavía una cierta tensión entre las determinaciones institucionales, la inercia de las prácticas informacionales y la necesidad de buscar modalidades más incardinadas en la lógica de funcionamiento del medio digital, las cuales abran, a su vez, la posibilidad a modelos de aproximación a los hechos culturales más discursivos, narrativos e interpretativos.

6.3 Tecnologías de exhibición para la Realidad Aumentada y la Holografía

La incorporación de las nuevas técnicas de computación, simulación y visualización en las entidades museísticas han llegado a plantear nuevas estrategias en la difusión artística, entre ellas la relación entre el objeto y el visitante dentro del museo.

Una de estas técnicas es la ya descrita Realidad Aumentada, que tiene una especial funcionalidad en el ámbito museístico, permitiendo observar una imagen desde diferentes ángulos con el fin de obtener una visión más completa de lo que se exhibe. Otra ventaja que ofrece esta técnica es la capacidad de complementar información para ayudar al espectador a comprender y tener mayor conocimiento sobre la obra (cambia el concepto de vitrina, tal como la concebimos).

También en este contexto son muy recurrentes las aplicaciones de la Realidad Aumentada, que mediante el uso de marcas puede imprimir desde la propia web. Esto último es sobre todo útil porque nos permite interactuar con objetos de la colección permanente o de exposiciones temporales sin tener que estar familiarizado con las tecnologías. El gran problema que presenta es que sólo puede ser empleado por un único usuario, motivo por el cual se han intentado crear nuevas tecnologías que puedan solventar este problema y perfeccionar el realismo a nivel experimental. Una aplicación muy utilizada en entornos culturales es la configuración del sistema de Realidad Aumentada en *Smartphone*. La implantación de estos dispositivos la convierte en un perfecto prototipo de guía personal para los visitantes. Otro rasgo importante dentro de esta categoría son las aplicaciones capaces de reconocer los

rasgos naturales dentro del campo de visión de la cámara, que insertan los gráficos sobre la obra o escena real gracias al rendimiento de los procesadores.

Al hilo de lo anterior, indicaba Ruiz Torres, D (2013: 70) lo siguiente: *“El uso y proliferación de dispositivos portátiles ha conseguido que sea posible aumentar los contenidos que se ofrecen en las salas de exposición, a través de un discurso didáctico y personalizado”*.

Durante el periodo 2005-2007 se han llevado a cabo investigaciones en las que se han abordado estudios agrupados bajo el nombre de Mobile Augmented Reality Quest (MARQ). En los ensayos enmarcados en las investigaciones se pretendió implementar un sistema de Realidad Aumentada en un PDA basándose en juegos y guías personales. Normalmente estos respondían a la fórmula de *edutainment*, donde los niveles estaban asociados a varios de los objetos que podían encontrarse en las salas de exposición. Estos se encontraban señalados con una marca que indicaba la existencia de contenido virtual y, al ser enfocados con la cámara del PDA, aparecían nuevas pruebas relacionadas con la obra de arte.

Otros trabajos de estudio universitario se han centrado en los prototipos de guías personales, donde se han desarrollado *softwares* basados en tareas de reconocimiento mediante un mapeado visual aplicado a dispositivos portables. Este *software* guiaba al usuario en el recorrido mediante el indicador virtual que buscaba aquellos elementos que podían visionarse mediante la Realidad Aumentada.

Por otro lado, existen otras variantes de la Realidad Aumentada, como la denominada *Spatial Augmented Reality*, que permiten un nivel más profundo de conocimiento acerca de la obra, contextualizando o añadiendo información. En este caso, la reconstrucción de los elementos virtuales se realiza mediante proyecciones en 3D, la pieza se coloca en el interior de la Virtual Showcase para que sea aumentada digitalmente con contenidos virtuales generados por ordenador. Los usuarios deben disponer de unas gafas LCD, que lo capacitarán para ver el objeto aumentado a

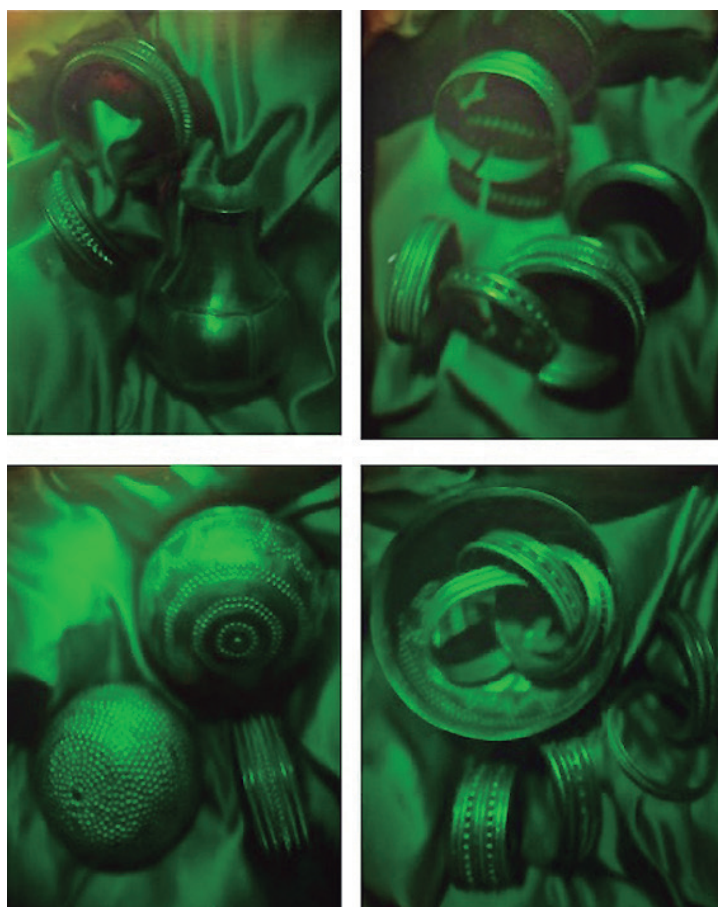


Fig. 96 Hologramas de reflexión del *Tesoro de Villena* (1983) realizados por el Dr. J. A. Quintana, Centro de Holografía, Universidad de Alicante, 1984.

través de los espejos semitransparentes de la *Virtual Showcase*¹⁴⁸. Este tipo de *display* recibe el nombre de *spatial optical see-through display*, que en español significa *displays espaciales ópticos*, y consta de unos videoproyectores que son instalados en el mismo lugar. Estos videoproyectores necesitan un proceso de calibrado previo para que puedan generar los gráficos sobre el objeto.

148. Presenta el mismo aspecto de una vitrina real, donde los gráficos se superponen sobre el objeto. Los cristales son semitransparentes y responde a la forma de una pirámide truncada invertida.



Fig. 97 El rey Karl Gustaf recibió el holograma nº 1/20 en relación con el 20 aniversario en el Palacio Real (1990). (derecha) Este es el primero de la serie y el nº17 se encuentra actualmente en el Museo de Chicago.

La holografía también se ha empleado en la institución museística, fundamentalmente para sustituir algunos objetos delicados y valiosos, o bien para sustituir aquellas obras que se encuentran en exposiciones itinerantes. En este caso, sacar objetos de gran valor de un museo para exponerlos en otras ciudades siempre supone un riesgo. Para ello se han realizado buenos hologramas que reproduzcan estos objetos con gran fidelidad. Por ejemplo, en 1983 se realizaron en la Universidad de Alicante una serie de hologramas de reflexión sobre el tesoro de Villena, y hologramas de este tipo se han utilizado en varios países para la conservación de obras de arte consideradas tesoros arqueológicos a través de un vasto programa de colaboración entre físicos y museólogos. La fidelidad en la reproducción de formas, colores y brillos es tan fidedigna que es difícil diferenciar entre el objeto original o una reproducción holográfica.

En este caso, destaca la holografía soviética, quienes fueron los primeros en la utilización de las técnicas holográficas para tareas museológicas, aunque también la han empleado como modo de registro con fines documentales y didácticos.

En 1990 con motivo del aniversario del Tesoro de Riksregalie utställningen se celebró en el Palacio Real, se presentaron 20 hologramas de la corona sueca, hecha de la coronación de Erik XIV en 1561. El Rey recibió la primera imagen tridimensional de la corona en 1974 por Nils Oleinikoff (1944-), láser *Grupo holovisión AB* en relación con filatélico, STOCKHOLMIA.

Tanto en 1974 y en 1990 fue holografiado en condiciones rigurosas de seguridad y se considera hoy imágenes únicas a nivel internacional. Para ello, se tuvo que construir temporalmente un laboratorio dentro del Palacio Real de Estocolmo, dirigido por el profesor Hans Bjelkhagen.

Otra referencia, es el museo de León Nikoláevich Tolstói, donde se encuentra la sortija "Ana Karenina" que recibió la esposa como regalo tras escribir la famosa novela. La dirección del museo decidió confeccionar un holograma de Denisiuk (se restituye con luz blanca) para exponer esta reliquia. B.Fiodorov, L. & Tsibulkin. (2012) *Holografía*. Madrid: MIR, pp.194

Por otro lado, la holografía se ha empleado como aplicación para realizar la labor

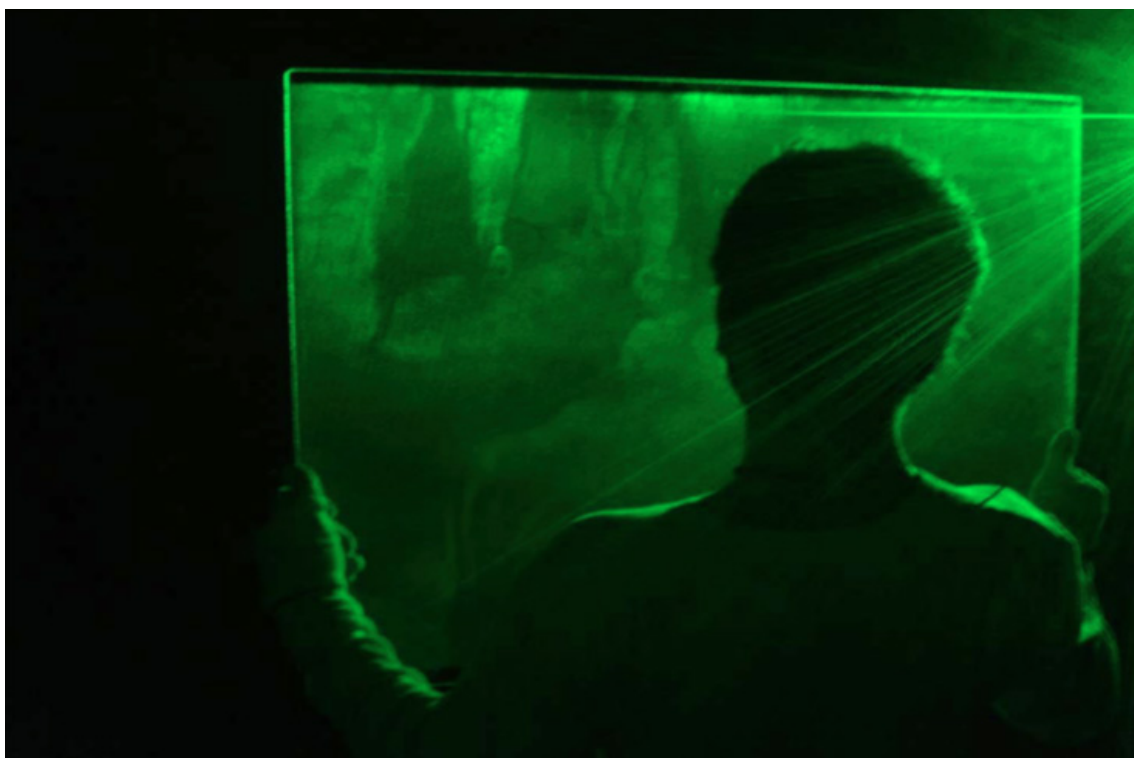


Fig. 98 Ruiz J sosteniendo uno de los hologramas para el trabajo de investigación (2004-2005).

de proyectos centrados en la conservación del patrimonio cultural. En este campo, destaca el Dr. Julio Ruiz García (Avilés, Asturias, 1957) graduado en la facultad de Bellas Artes de la Universidad Politécnica de Valencia. En la actualidad, Julio Ruiz es responsable del Dpto. patrimonio de la Fundación ITMA (Gijón, España).

En el año 2004-2005, Ruiz, presentó un importante trabajo de investigación junto con el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, conocido como CSIC, donde realizaron hologramas de gran formato en la cueva prehistórica de Tito Bustillo (Ribadesella, Asturias). Dicha investigación concluyó lo siguiente:

[...]Estas hologramas proporcionan imágenes tridimensionales de escenas con una profundidad mayor de 50 m. Cuevas a las que en un futuro no se permita acceder podrán ser contempladas a través de estas ventanas holográficas en los museos donde pueden compartir protagonismo con replicas o fotografías de las mismas. A diferencia de las replicas, los hologramas se pueden transportar fácilmente por lo que su exposición en cualquier lugar es fácil y económica. [...] Artículo. *Realización de hologramas de cuevas prehistóricas*[...] (P.7)

Este artículo fue enviado para su publicación a: *The Holographer*, holographer.org con el objeto de demostrar la aplicación de la técnica holográfica en el arte y en los museos, se recogen las conclusiones de los trabajos de holografía realizados en la Cueva de Tito Bustillo (Ribadesella, Asturias) en 2004 y 2005.

El Museo de Nacional de Ciencias Naturales de Madrid¹⁴⁹ se tomó como espacio para realizar un estudio más profundo de las exhibiciones con y sin tecnología. En el museo se encontraron cuatro tipos de tecnologías: Simulación holográfica, Proyección de animaciones, mesas interactivas, Realidad Aumentada y museografía tradicional.

1. El holograma representaba un cráneo 3D que reconstruye progresivamente a un homínido. 2. Vídeo animado de ambientación a una criatura que representa su entorno natural. 3. Mesa Táctil que permite familiarizarse con lo que son los fósiles y la paleontología. Contiene juegos y permite observar detalles que no se aprecian en la exhibición.

El principal objetivo era impactar con las nuevas tecnologías y promover un discurso educativo, sin embargo pasaron desapercibidas y se dio el inconveniente de que los visitantes no asimilaban la información debidamente.

En este estudio se llegó a la conclusión de que la tecnología ha demostrado ser de utilidad en muchos museos, aunque se debe de emplear con cautela. Para ampliar la cobertura de los museos, deben implementarse estrategias capaces de sensibilizar y así crear hábitos de visita.

149. (V.E. Contreras, A.A. Navarro-Newball, I. Moreno Pontificia, pag.237, *Estudio comparativo de Museos en Cali-Colombia y Madrid-España*, Colombia-Universidad Complutense de Madrid)

Algunos aspectos que recoge el estudio son interesantes:

- Debe haber una relación bidireccional entre la información y el conocimiento.
- Es importante crear museos abiertos e inclusivos.
- Hay que fomentar sistemas con información múltiple y dinámica que den cabida a las opiniones y percepciones del visitante, que hoy en día se han convertido en pro-consumidores.
- Se debe evolucionar y pasar de ser museos contemplativos a museos comunicativos, didácticos e interactivos. Es decir, aquí no prima tanto el objeto, sino todo lo contrario, la información y la contextualización de sus temáticas son más importantes.
- Uso de diferentes elementos como los electrónicos (pantallas), mecánicos, o incluso la presencia de animadores o guías culturales.

Además si se quiere hacer uso de elementos interactivos se debería tener en cuenta:

- A qué tipo de público va dirigido el módulo para saber qué tipo de lenguaje se debe emplear.
- Identificar y elaborar el mensaje que se quiere transmitir, ya sea este narrativo, descriptivo, argumentativo o instructivo, y vincularlo al guion museográfico.
- Definir el mensaje para transmitirlo correctamente.
- Identificar qué tipo de herramientas se deben emplear para motivar el aprendizaje visual, auditivo, cognitivo y táctil, y ubicarlas adecuadamente.

La influencia de los avances tecnológicos que han modificado y que continúan modificando su enfoque expositivo.

Algunos expertos opinan que tecnologías tales como la Realidad Aumentada o la holografía son simples modelos de exhibición, que no tienen otra función que la de sustituir la pieza analógica, y no son más que una atrevida prolongación de la museografía tradicional en su deseo de buscar nuevos enfoques efectivos a través

de la espectacularidad, sin prestar atención a la transmisión del propio mensaje y a la didáctica que da sentido a la obra.

Aquí, el valor instrumental que se atribuye a los recursos digitales no es del todo cierto. Se desvaloriza cuando el medio irrumpe en el diálogo entre el espectador y la obra, es decir, la comunicación no se ha transmitido al receptor de una forma correcta, y crea una cierta insatisfacción en el individuo.

Por ello es importante tener en cuenta que las tecnologías deben ser empleadas no sólo para buscar el impacto de una experiencia visual, sino que es capital garantizar que actúen como emisor de contenidos artísticos y culturales.

En este sentido, y siguiendo estos parámetros, la introducción de las nuevas tecnologías en el ámbito museístico puede actuar como un medio eficaz para el desarrollo intelectual. Por otro lado, los medios puramente visuales no dejan de ser experiencias monótonas, parciales y emocionalmente limitadas. El espectador no siente, no toca, sólo se trata de una experiencia visual. No sólo se aprende a través de un sentido concreto, por lo que es restrictivo y empobrecedor acotar la experiencia sensorial. Para estrechar el vínculo entre el espectador y la obra deben ser reforzados los demás sentidos cognitivos. Por ello, creo que tienen mayor éxito aquellas salas en las que el espectador puede interactuar de una forma más real que aquellas donde el visitante no tienen contacto con la obra. Por supuesto, este salto se acentúa en la comparativa entre el museo físico y el museo virtual.

En este aspecto, hay museos preparados en activar la capacidad sensitiva y emocional, algo que es crucial en la intensidad y la calidad de la experiencia del receptor. Uno de ellos es el Museo del Traje de Madrid, el cual amplió sus salas para concebir el Área Didáctica y Multisensorial. La visita se inicia con la recreación de trajes que ilustran la evolución de la historia de la moda, para que el visitante pueda tocar y enredar una falda de un vestido del Romanticismo; siguiendo el recorrido de la sala, en ella se exhiben bustos que permiten comprender la línea de la silueta modelada por los gustos estéticos de cada momento histórico.

Otra técnica para distinguir los distintos tipos de tejidos consiste en apreciar la

manera en que se cruzaban los hilos, u oler las distintas fibras textiles. Además se encuentran réplicas de distintos objetos que el visitante podrá probarse, como pueden ser un miriñaque o unos chapines.

El recorrido finaliza en el área didáctica en la que se ofrece información al visitante sobre el complejo mundo de la moda a lo largo de la historia, profundizándose en temas como las razones por las que el ser humano se viste y el proceso de construcción de un traje.

En definitiva, el resultado de este espacio es facilitar la comprensión de diferentes aspectos de la moda de una manera sensorial, y complementa de forma lúdica la exposición permanente. Además, esta adaptación facilita el acceso a personas con discapacidad visual. En sí, demuestra que la comunicación puede ser natural, a través de los puntos receptivos, y no sólo a través del ojo.

Los museos españoles emplean la tecnología para aumentar el aprendizaje y el entretenimiento (aunque en gran medida es más por esta última razón, al fin y al cabo los museos necesitan optimizar beneficios en el seno de una sociedad mercantilizada). Algunos ejemplos de aplicaciones tecnológicas relacionadas con el mundo museístico son los libros virtuales sobre mesas táctiles, como los que se encuentran en la Caixa Forum de Madrid, exhibiciones con vídeos integrados o maquetas táctiles de lugares representativos.

Portanto, el complejo digital debe formar parte de la institución, como un complemento de interacción y de libre acceso. Tal vez sea este el motivo por el que la tendencia de la exhibición digital se encuentre bajo el fenómeno del procomún. Una finalidad de la que todos somos participativos, sin que la obra sea sometida a la privatización.

El museo es inútil si no puede concebirse como un proyecto cultural colectivo. Sólo así esta institución del procomún se convierte en una fuerza con capacidad para transmutarnos en seres autónomos conscientes de sus propios valores y visiones del mundo. Es cierto que su configuración siempre dependerá de la interacción de fuerzas e intereses sociales diversos en un marco de conexiones inciertas. No obstante, el

museo continúa reinventándose a la par que nos hace partícipes de esa experiencia. En su travesía singular se ha vuelto dialógico, logrando vincularnos a él de forma sutil y compleja. (Fernández Moreno, A. 2015. Pp.211-213)

Como podemos comprobar, no existe un patrón universal a la hora de exponer una obra, tenemos infinitas formas de enfrentarnos a este reto. Hay que atender al hecho de que todos los sentidos, incluyendo el sentido común y el plano emocional, son absolutamente relevantes en una exposición. Si perdemos de vista esta consideración estaremos condenando al museo a una progresiva pérdida de autenticidad que lo abocaría a su posible desaparición como concepto tal y como lo conocemos. Esta no sería la única consecuencia de este error apreciativo, ya que también estaríamos rebajando la obra artística a mero símbolo u objeto decorativo centrado en el plano visual, lo que empobrecería a una sociedad que se vería carente de auténtico Arte.

Así pues podemos concluir que la virtualidad en el arte es una herramienta que, como tal y sin sobrepasar sus límites, ha resultado y resultará útil en el aspecto divulgativo, democratizador y globalizador del acceso a las obras artísticas, pero que exige una continua revisión que impida que “la parte se acabe comiendo al todo”. Una de las principales tareas de los gestores museísticos va a ser vigilar el correcto uso de estas herramientas e implementar su crecimiento dentro de unos cauces muy bien delimitados, impidiendo que el caudal que generan y generarán nunca se desborde de los mencionados cauces.

Conclusiones

La investigación realizada en *De la Holografía a la imagen virtual. Tecnologías de representación tridimensional y manifestaciones artísticas en el siglo XXI* recoge las relaciones actuales que se establecen entre la holografía y los sistemas de representación tridimensional, así como la influencia del uso de las tecnologías derivadas de la misma en la práctica artística.

El trabajo realizado se caracteriza por su valor compilatorio. Presenta una información amplia y revisada en torno a la holografía, con una recopilación de figuras renombradas vinculadas a su historia, así como a las posibilidades y alternativas que brinda esta tecnología como medio de expresión artística. Los datos aportados pueden actuar como indicadores de la tendencia que se derivará de su práctica en un futuro próximo y deja abierta las puertas a posibles estudios sobre su desarrollo y evolución.

Las respuestas creativas de los hológrafos a lo largo de todos los años de existencia de esta tecnología, han permitido la aproximación a un estudio diacrónico y sincrónico, así como a la realización de una comparativa de las características contextuales que describen el entorno holográfico en cada una de sus etapas. A través de la observación y el análisis de distintas obras holográficas, se han podido identificar las asociaciones entre el perfil del hológrafo, los medios de los que dispone y la obra que, *a posteriori*, lleva a cabo.

Este trabajo de investigación ofrece un repertorio completo y actualizado de fuentes bibliográficas relevantes en el terreno de la holografía. Dichos referentes aportan de una manera directa e indirecta, información y datos sobre lo que han hecho y hacen los hológrafos y sobre cómo lo hacen, en función de los medios de los que disponen a su alcance. Se han tenido en cuenta numerosas investigaciones y publicaciones que indagan sobre los condicionamientos de la holografía asociados al medio artístico, lo que ha permitido a su vez comparar las distintas prácticas artísticas holográficas en relación a otras tendencias caracterizadas por la fusión de arte y tecnología.

Se ha realizado una intensa labor de trabajo de campo en un intento de contextualizar primero y de ofrecer después, además de una revisión de las prácticas artísticas holográficas, una invitación a la reflexión que distingue lo puramente tecnológico de lo artístico.

El análisis de las obras holográficas seleccionadas ha partido del contexto histórico en el que se circunscribe cada una de ellas y que se corresponde con la escena artística de cada momento en cuestión. La consulta de las tesis doctorales relacionadas con la holografía artística ha resultado fundamental para establecer el marco de estudio y acotar el espacio temporal.

La evolución diacrónica holográfica se caracteriza por su capacidad expresiva, efímera y virtual. Es evidente la necesidad de la tridimensionalidad en el ámbito artístico. A través de ella se ha comprobado que el impacto que genera una obra sobre la conciencia del espectador es mayor que con cualquier otro tipo de representaciones. La tridimensionalidad conlleva imbuir al espectador en la obra, hacerle partícipe de una realidad interactiva que traspasa el simbolismo de la imagen.

Los desarrollos recientes en las técnicas de producción de hologramas digitales y de estereogramas holográficos han mejorado con lo que se ha logrado crear ilusiones tridimensionales de alta calidad.

La holografía digital es uno de los medios más avanzados de grabación óptica hasta la fecha. Hoy por hoy, las grandes máquinas holográficas están a disposición de la industria y la comunidad científica.

Si bien se puede concluir que las características señaladas a lo largo de la investigación realizada, han marcado la evolución de la holografía, han sido la literatura y el imaginario popular los encargados de dar un vuelco al interés por los avances en esta tecnología. En realidad, como se ha podido explicar en este trabajo, su desarrollo sigue estrechamente ligado a las imágenes 3D tradicionales y a la estereoscopia, así como al desarrollo de las imágenes cinéticas.

Se espera que la holografía recobre su impulso original volviendo a focalizar su atención al introducirla como medio publicitario y como un prometedor negocio. Obviamente, estos fines comerciales repercutirán en la obra artística que haga uso de ella, pudiendo restarle cierto valor.

Sin embargo, de la proyección volumétrica entendida como tecnología holográfica actual, se espera que tenga un amplio recorrido experimental. Para acercarla al público será necesario el abaratamiento de los costes de sus sistemas y una “usabilidad” simple, sobre todo de carácter doméstico, lo que será clave para su éxito. Este acercamiento de la holografía al consumo compartido no significa obligatoriamente que el artista que acceda a ella, vaya a perder su potencial expresivo.

Las características definitorias que envuelven la sociedad tecnológica digital trascienden las fronteras de la experimentación de los particulares y de los artistas de nuestro siglo. Parece que ya existe cierta confusión entre la holografía de producto o aplicaciones con fines comerciales y la holografía artística.

Actualmente, la manipulación digital y la continua recreación de entornos virtuales, ha provocado un enorme crecimiento de la repercusión de esta simbiosis artístico-tecnológica en la vida social, modificando nuestra percepción y alterando nuestros valores culturales. En cierta medida, se entiende que las proyecciones digitales, exteriorizan riqueza y complejidad en los procesos cognitivos de nuestros sentidos y facultades.

Por otra parte, ha de resaltarse el crecimiento del factor tecnológico, al mismo tiempo que se reduce la empatía del ser humano. Cuanto más avance el medio tecnológico, menor será el esfuerzo por intentar acercarse a la obra, y el público será menos consciente de la materialidad y presencia de la obra.

Como consecuencia de este creciente avance tecnológico, el arte se encuentra constantemente en la necesidad de adecuar la práctica artística a la situación que alberga la sociedad, reduciendo la creatividad a fórmulas de desarrollo artístico capaces de captar la atención del espectador.

Tal y como describió Rebecca Allen, en el festival de cultura y creatividad digital, Artfutura, bajo el título “*Virtual Reality*” (1990):

“Todas estas capacidades técnicas nos dejan con la responsabilidad de crear modelos de realidad que proporcionen nuevos caminos para mejorar la condición humana. Debemos continuar combinando la intuición y la expresión artística con la comprensión científica para que de este modo podamos descubrir nuevas perspectivas de la realidad.”

A lo largo de esta investigación hemos observado también cómo la superación de la rigurosa dicotomía entre real y no-real, puede conllevar sus propios riesgos. El mundo real o verdadero podría terminar transformándose en un espejismo. Un mundo en el que apenas se pueda distinguir entre la verdad y la ficción y la objetividad no exista. *“La humanidad se mueve más que nunca en el tecno-espacio de la telecomunicación, que está sustituyendo cada vez más al espacio real y a la experiencia física”* Peter Weibel (1992:143)

Así pues, podemos concluir que la relación entre tecnología y arte, entendidas ambas en el sentido más amplio posible, es una simbiosis necesaria en una doble vertiente: necesaria porque acrecienta las posibilidades, la potencialidad y el progreso en ambos campos; necesaria también porque intentar desligarlas supondría traicionar la idiosincrasia de la propia sociedad actual y destruir el sistema referencial dentro del cual nos movemos como seres humanos.

La adquisición de una visión de conjunto sobre la realidad artística del medio holográfico a lo largo de su relativa corta vida ha sido un eje fundamental de este estudio.

Nuestro enfoque se ha centrado no solo en una indagación de tipo histórico, sino que también hemos hecho hincapié en las razones teóricas de tipo estético relacionadas con las obras analizadas, a la vez que se procedía al análisis de las mismas desde una perspectiva tanto tecnológica como artística.

La situación de la holografía actual puede concebirse, como indica García Robles, R. (2010: 619), *“como evolución de las técnicas de foto-registro, y no como un estadio más de las tecnologías de simulación de la representación 3D”*.

Esta investigación pretende dar una alternativa de enfoque cronológico-sociológico-artístico y tecnológico, mediante una revisión de la historia de la holografía como medio de expresión artística desde sus comienzos exploratorios hasta la actualidad. En ella se han expuesto los fines artísticos y comerciales con los que se suele usar la holografía partiendo de una revisión de los distintos perfiles profesionales representativos (incluidos los artísticos) del ámbito de la holografía.

El complicado acceso a la técnica de la holografía es una realidad que ha obligado a actualizar y conservar todos los avances que se han ido dando en su experimentación e investigación hasta la fecha. Prueba de ello son los centros especializados con los que se cuenta en la actualidad y que quedan recogidos en este estudio. Las iniciativas de instituciones como los *Holographic Studios* (1979, Nueva York) y su gabinete de objetos, fundados por Jason Arthur Sapan, uno de los pioneros de la holografía, o la extensa colección de Jonathan Ross son una buena muestra de ello. Ellos procuran una experiencia directa con esta tecnología que se considera básica e imprescindible para poder dar continuidad a su enseñanza.

En esta Tesis se han querido destacar museos dedicados a la holografía como el Holocenter, que da respuesta a la necesidad de enseñar a los nuevos artistas holográficos las colecciones más representativas de este tipo de obras. Al mismo tiempo, estas instituciones constituyen un lugar de encuentro ideal para atraer la

atención del público receptor y despertar el interés por la holografía como práctica artística. Pero no solo se ha presentado desde la perspectiva de la holografía como obra de arte en sí, sino también como sistema de exhibición o método de reproducción fidedigna de objetos y espacios originales.

A través del análisis cronológico realizado, se puede concluir que el interés de la holografía como forma artística persiste en la actualidad, al mismo tiempo que se han establecido las diferencias entre la holografía como forma de arte y otras tecnologías de carácter lumínico o de ilusión óptica. Se ha podido estudiar y definir la holografía como fenómeno que evoluciona desde la presentación de los principios básicos de la imagen tridimensional hasta la difícil distinción entre el mundo real y el virtual. También se han recopilado los antecedentes de técnicas holográficas y cómo influyen sus resultados en la funcionalidad de los dispositivos actuales.

En paralelo, se han descrito los lazos entre la Literatura y la Ciencia Ficción, y los avances de las nuevas tecnologías relacionadas con la holografía, así como con otros sistemas de representación 3D.

Esta investigación fomenta una cultura que reconozca el potencial de la holografía, para lo que se ofrece una serie de herramientas que ayudan a profundizar en el análisis de la obra holográfica, teniendo en cuenta distintos enfoques: criterios artísticos; entorno contextual del trabajo; fines ético-morales y comerciales; materiales y equipo con los que debe contar un hológrafo, información que pretende transmitir con las obras y, sobre todo, circunstancias determinadas por el espacio y el tiempo que le puede tocar vivir y que difuminan, en muchas ocasiones, la estrecha línea entre tecnología y arte.

Experimentación, investigación, educación y exhibición se dan la mano tanto en centros y gabinetes dedicados a la enseñanza de la holografía, como en museos y colecciones destinados a conservar la dimensión artística de la misma.

Tanto la holografía óptica como la vídeo proyección requieren de un papel fundamental en la actividad museística. Ambas pueden mostrar una imagen fidedigna, y permiten sustituir obras originales por *“facsimiles”*. Pueden obedecer así a las necesidades de las propias instituciones y facilitar la colaboración y el intercambio entre las mismas. La exhibición holográfica puede responder a la contemplación sensorial y fomentar la interacción con el espectador, recursos fundamentales para la divulgación y la comprensión de las obras que pueden dar respuesta a las expectativas de los diferentes centros. Todo ello, quedaría supeditado al abaratamiento de los soportes holográficos que permitirían que tuvieran un mayor protagonismo en el futuro. En la actualidad se sigue recurriendo a medios de exhibición más rudimentarios.

Los museos virtuales mantendrán sus funciones de responder a las estrategias de difusión de las instituciones, reafirmar la identidad corporativa, aportar sistemas de visionado tridimensional y fotorrealismo para ofrecer una mayor comunicación entre visitantes y el museo.

Del mismo modo que la Realidad Aumentada puede resultar útil para las guías turísticas, la finalidad de los medios tecnológicos en los espacios museísticos no será otra que la de permanecer como un soporte de apoyo y presentación de la obra en sí.

El concepto de la holografía ha cambiado a lo largo de los últimos años, inclinándose hacia su vertiente más tecnológica. El límite que separa los registros holográficos actuales de las técnicas audiovisuales basadas en la ilusión óptica es cada vez más difuso, lo que ha podido dar pie a equívocos tanto en sus lenguajes como en sus aplicaciones. Así lo demuestran la revisión histórica y el análisis cronológico de las diferentes perspectivas que han ido tomando la holografía artística y que quedan reflejados en este trabajo.

La perspectiva de futuro próximo de las técnicas holográficas abarcará la inclusión del procesamiento digital con señales multidimensionales. Dichas innovaciones cambiarán la forma de emitir de distintos medios de comunicación como la televisión.

Por tanto, esta investigación ha indagado sobre múltiples aspectos que invitan a la reflexión diacrónica sobre las posibilidades que el medio de la holografía ofrece, sobre todo, en los contextos más recientes de prácticas artísticas actuales.

Para finalizar, consideramos importante el incidir en la necesidad de un apoyo tanto promocional como educativo para la potenciación de una oferta formativa en torno a la holografía, tanto en el plano nacional como en el internacional. Solo así, seguirá siendo viable la concepción artística del medio holográfico. Obviamente, la holografía no solo necesita de una acertada combinación de factores técnicos-tecnológicos y culturales, sino de una aportación de índole económica y financiera que permitan propulsarla desde su dimensión artística. La presente investigación ha querido contribuir a iniciar nuevos estudios en torno a la obra holográfica en función de sus potencialidades artísticas presentes y futuras.

Conclusions

The research carried out in *From holography to visual image. 3D representation technologies and artistic manifestations in the 21st century* captures the relationships currently established between holography and tridimensional representation systems, as well as the influence that those technologies derived from holography have in the artistic practise.

This study has a significant value as a compilation. Wide and reviewed information about holography is presented together with well-known names linked to its history and to the options and alternatives offered by this technology as an artistic tool. The data provided here may help to foresee the new trends that will emerge from its practise in the near future, opening the door for new researches on its evolution.

The creative responses made by holographers of all times have led the development of a synchronic and diachronic study that allows a comparison among the different contextual characteristics that define holography in each period. Throughout the analysis of different holographic pieces we have identified all the possible relations among the holograher's profile, the available tools and the artwork eventually created.

This thesis offers an exhaustive and updated repertory of the relevant literature about holography. Such bibliographic sources provide, both in a direct and an indirect way, information about what holographers do and have done, as well as about how

they do it depending on the tools they can access. In the same way, a number of academic researches and publications have helped us to explore the constraints having to do with the media that holography must face, and have also allowed us to establish a comparison among different holographic artworks with regard to those new trends that blend technology and art.

An intense field-work has been carried out during this study with the aim of setting the relevant context and also with that of eventually offering not only a review of holographic art, but also an invitation to thinking through the differences between what is purely technological and what is truly artistic.

The analysis of selected holographic artworks is based on their respective historical context and also on the artistic trends of each period. The various PhD thesis dealing with artistic holography that have been considered, have been crucial to establish the aims of this study and its temporal scope.

Therefore the conclusions reached in this work are consistent with the ideas developed in the previous literature, and so the diachronic evolution of holography can be defined by the following characteristics:

The diachronic evolution of holography is characterized by its fleeting, virtual and expressive power. The need of the third dimension in art is self-evident. Thanks to it, it has been observed that the impact on the viewer is bigger than that caused by any other kind of representation. Representing the third dimension means to include the viewer within the piece and within an interactive reality that goes beyond the symbolism of the image.

Recent advances in production techniques for digital holograms and holographic stereograms have improved in order to create high quality 3D illusions.

Digital holography is one of the most advanced optical recording tools nowadays. Today

the biggest holographic machines are controlled by the industry and the scientific world. Although we can conclude that the characteristics outlined throughout this dissertation determine the evolution of holography, it is literature and pop culture what increases the public's interest in this technology. In fact, as this study explains, its development is still linked to traditional images as well as to stereoscopy to create kinetic images. It is expected that holography will recover its original appeal, drawing attention as an advertising media or as a promising business. Of course, these commercial purposes may influence the avant-garde artwork and cause it to be underestimated as a valid means of expression.

On the other hand, it is also expected that digital holography, conceived as a modern and delicate technology, will have a long experimental life. In addition, like any other modern technology, digital holography needs to become cheaper and easier to use, specially in daily life, in order to become more accessible to people: this is the key that will empower it. Such an approach between holography and shared consumerism does not necessarily mean that the artist who has access to it will miss its expressive power.

The characteristics that define our digital and technological society go beyond the boundaries of the experimentations carried out by contemporary artists and individuals. Nevertheless, there exists already some confusion between holographic products or commercial applications and truly artistic holograms.

Nowadays the social repercussion of this technology-art combination is increasing greatly due to the digital manipulation and the constant recreation of virtual surroundings, and so our perception and our cultural values are eventually modified. To some extent, it is understood that digital technology externalizes the complexity and richness of the cognitive processes of our senses and faculties.

It is also important to stress the growing relevance of the technological factor and the resulting decrease of human empathy. The more technology improves, the less hard will the public try to approach the artwork and the less aware will they be of its presence.

As a consequence, art always needs to adapt to the social situation, reducing creativity to other art means capable of drawing the public's attention.

According to Rebecca Allen, at the Digital Culture and Creativity Festival, Artfutura, under the title "Virtual Reality" (1990):

"All this technical potential leave us with the responsibility of creating reality models that provide new ways to improve the human condition. We must keep on combining intuition, artistic expression and science so that we can discover new perspectives about reality".

This research has also shown that overcoming the rigid dichotomy between real and non-real might be risky. The real world might end up transformed into an illusion. A world where it is almost impossible to distinguish between truth and fiction, and where objectivity does not exist. "The human being lives more than ever within the "technospace" of telecommunication, which is replacing more and more the real space and the physical experience" (Peter Weibel, 1992: 143).

Therefore we can conclude that the relationship between technology and art, both terms used in a broad sense, is a necessary symbiosis because of two reasons: it is indispensable because it increases the possibilities, the potential and the progress of both fields and also because trying to separate them would mean to betray the essence of contemporary society itself and to destroy the referential system within which we live as human beings.

Providing a comprehensive overview of the holographic artistic reality throughout its relatively short life has been one of the main achievements of this thesis. This is why we have focused not only on the historical inquiry but also on the aesthetic theories related to the pieces under analysis, while studying them from both technological and artistic perspectives.

The current situation of holography may be considered, as García Robles, R. (1990)

points out, “as the evolution of the photo-recording techniques, and not as another stage of 3D simulation technology.”

This research aims to provide an alternative diachronic, sociological, artistic and technological perspective by revisiting the history of holography as an artistic tool from its experimental beginnings until the present day. The artistic and commercial purposes with which holography is often used have been presented, starting from a review of the the most relevant professional profiles in this field, including the artistic ones.

To finish, we have improved the way in which the holographic artwork is analysed by including different perspectives: the artistic criteria, the work environment and context, the ethical and commercial purposes, the available materials and the team the artist can count on, the information that the artist intends to express and, above all, the specific circumstances of the space and time where the artist lives, which often blur the thin lines that divide technology and art.

The difficult access to holography has made it necessary to update and preserve every improvement reached throughout experimentation processes up to now. This is shown by the existence of centers specialized in holography, included in this study. The initiative of institutions such as the Holographic Studios (N. Y.) and its object cabinet, founded by Jason Arthur Sapan –a forerunner in holography–, or Jonathan Ross’ enormous collection are good examples of this. They try to provide a direct experience with this technology, which is considered basic and indispensable in order to continue teaching it.

This thesis has emphasized the importance of those museums devoted to holography, like the Holocenter, which answer a need for showing the most representative collections to the new holographic artists. At the same time, these institutions are the perfect place to draw the audience’s attention, awakening their interest in holography as an art media. However, holography has not been presented only as an art form, but also as an exhibition system, or a faithful representation method that

captures the original objects and spaces.

Thus thanks to the chronological research carried out in this thesis we have shown that today this interest on holography as an artistic form is still alive and, at the same time, we have established the differences between artistic holography and other technologies based on light or optical illusion. This dissertation has studied and defined holography as a phenomenon that has evolved from the basic principles of the 3D image to a complex distinction between the real world and the virtual one. Furthermore, the predecessors of the holographic techniques have been collected and described, as well as their influence on how current devices work.

In the same vein, these pages have refined with fine-grained explanations the influence that literature and science-fiction have had on the development of new technologies related to holography and other 3D representation systems.

This research encourages the development of a new culture, one which is aware of holography and its potential. Thus it provides an in-depth reflection on how to analyze a holographic work taking into account different perspectives: artistic criteria, context of the work, ethic and commercial aims, materials and team available to the artist, information that the work intends to express and, above all, the specific circumstances determined by the time and place where the artist happens to live, which usually blur the thin line between technology and art.

Experimentation, research, education and exhibition go hand in hand both in centers and cabinets devoted to teaching holography and in museums and collections meant to preserve its artistic side.

Nevertheless, volumetric display, understood as current holographic technology, is expected to have a long experimental development.

In turn, both holographic optic and video projection demand a fundamental role in museum activity. The two of them can show a reliable image which allows the

replacement of original artworks, thus answering the needs of the institution itself, in case a work is in a different place because of having been lent or exchanged, for instance. Furthermore, its function can not only serve as a complementary tool, but holographic displays can contribute to sensory contemplation and to the spectator's interactivity, which are resources that can foment comprehension and dissemination, the main aims the institution wants to reach. However, costs do not allow a steady consolidation, so other more rudimentary means are preferred. In this sense, it is believed that a reduction in the prices of holographic means would allow them to play a bigger role in the future.

On the other hand, although virtual museums have a different function nowadays (to help dissemination strategies and to reaffirm corporative identity) tridimensional visual systems and *software* photorealism could provide a better communication between the museum and its visitors. Likewise, the fact that augmented reality can be useful for tourist guides leads to the conclusion that the purpose of technology in museums is no other than to keep supporting and presenting the work itself or the institutional complex.

The concept of holography has changed over the last years towards a more technological side. The thin line that divides current holographic records from audiovisual techniques based on optic illusion is becoming weaker and weaker, which has caused some confusion regarding its language and applications. This has been shown thanks to the diachronic review and chronological analysis of the different perspectives adopted by artistic holography that have been developed in this thesis.

In the near future, holographic techniques will cover other methods, like digital processing with multidimensional signals. Such innovations will change the transmission of different media, like TV.

Therefore this research has looked into different aspects that foster the historic reflection about the possibilities offered by this media, specially in the most recent

contexts of the holographic artistic practice.

To finish, it is worth insisting on the need of promotional and educational support to promote the teaching of holography both nationally and internationally. This is the only way to preserve the artistic side of holography. Obviously, holography does not only require a suitable combination of technological and cultural factors but also economic contributions that help to encourage it from an artistic dimension. This research has aimed to participate in the development of new studies on the holographic work, focusing on its current and future artistic potentials.

Bibliografía

Agusti, Jordi (2013). *Alicia en el país de la evolución*. Barcelona: Crítica.

Alonso, A (2015). *El holograma como Experiencia Artística*. BRAC - Barcelona Research Art Creation. Vol. 4 No. 2, June 2016, pp. 168-186

Alonso, María José (2014). *Nano-Oncologicals, News Targeting and Delivery Approaches*. Springer International Publishing: Springer.

Altamirano Aguilar, Jorge H.; Martí López, Luis (2004). *Holografía Básica*. México: Instituto Politécnico Nacional.

Andrade Pereira, Vinicius; Colorado Castellary, Arturo; Moreno Sánchez, Isidro (2014). *ArTecnología: Conocimiento aumentado y accesibilidad. II Seminario Internacional*. Madrid: Universidad Complutense.

Assange, Julian (2013). *Cypherpunks, La libertad y el futuro de Internet*. Barcelona: Deusto.

Basalla, George (2011). *La evolución de la tecnología*. Barcelona: Crítica.

Bellido Gant, M^a Luisa (2001). *Arte, museos y nuevas tecnologías*. Gijón (Asturias): Ediciones Trea, S.L.

Bellido Gant, M^a Luisa (ed.) (2013). *Arte y museos del siglo XXI. Entre los nuevos ámbitos y las inserciones tecnológicas*. Barcelona: Carrera Escartín, S.L.

Benavides, Lidia (2003). **[Tesis Doctoral]** *La luz como lenguaje visual y su significación: espacio, movimiento y percepción. Precedentes y proyección en el arte actual*. Dirigida por Javier Díez Álvarez. Universidad Complutense de Madrid: Facultad de Bellas Artes, 2003

Benedikt M. (1993). *Ciberspacio: los primeros pasos*. Mexico: Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología Equipo Sirius Mexicana.

- Benyon, M. (1994). **[Tesis Doctoral]** *How is holography art?*. Londres: Royal College Art.
- Bostman, Rachel; Rogers, Roo (2010). *What's Mine is yours. The rise of collaborative consumption*. Nueva York: Harper Business.
- Burdea, Grigore; Coiffet, Philippe (1996). *Tecnologías de la Realidad Virtual*. Barcelona: Paidós Ibérica.
- Calvo Padilla, María Luisa; Alieva, Tatiana; Rodrigo Martín-Romo, José A.; Moreno Merino, Alfonso; Aliev, Timour (2008). *Holografía. Laboratorio virtual*. [Recurso electrónico] Madrid: Editorial Complutense.
- Cañigüeral, Albert (2014). *Vivir mejor con menos. Descubre las ventajas de la nueva economía colaborativa*. Conecta.
- Capra, Fritjof (2008). *La ciencia de Leonardo. La naturaleza profunda de la mente del gran genio del Renacimiento*. Barcelona: Editorial Anagrama, S. A.
- Carr, Nicholas G. (2011). *¿Qué está haciendo Internet con nuestras mentes?*. Madrid: Taurus.
- Carr, Nicholas G. (2014). *Atrapados. Cómo las máquinas se apoderan de nuestras mentes*. Madrid: Taurus.
- Catmull, Edwin Earl (1974). **[Tesis Doctoral]** *A subdivision Algorithm for computer. Display of curved surfaces*. Universidad de Utah, Departamento de Ciencias de la Computación.
- Collings, Neil (1988). *Optical pattern recognition using holographic techniques*. Addison-Wesley.
- Chong, Andrew (2010). *Animación digital*. Barcelona: Blume.
- Christiane, Paul (2003). *Digital Art*. Londres y Nueva York: Thames & Hudson world of art.
- Clark, Andy (2004). *Natural-Born Cyborgs*. Nueva York: Oxford University Press.
- Da Vinci, L. (2003). *Cuaderno de notas* (Por RAMOS, Miguel Ángel). Madrid: Edimat Libros, S. A.
- Dalmau, Carmen (2013). *Metamorfosis de unos cuerpos en otros Conferencia pronunciada con motivo de la exposición de Pepe Buitrago, Nobody (Él-Ella), en Espacio B. Centro de Holografía y Arte Dados Negros*. Fundación Pepe Buitrago.
- Debray, Régis (1994). *Vida y muerte de la imagen. Historia de la mirada en Occidente*. Barcelona: Paidós Iberica.

Deloche, Bernard (2001). *El museo virtual. Hacia una ética de las nuevas imágenes*. Gijón (Asturias): Ediciones Trea S.L.

Domínguez, Juan José; Luque, Ramón (eds.) (2011). *Tecnología digital y Realidad Virtual*. Madrid: Editorial Síntesis.

Dourish, Paul (2001). *Where the Action Is: The Foundations of Embodied Interaction*. Cambridge, MA: MIT Press, 2001.

Emmett Norman, Leith (1978). *Hologramas de luz blanca. Investigación y ciencia*. Barcelona: nº3.

Fajnzylber, Victor (2013). *La imagen táctil: De la fotografía Binocular al cine tridimensional*. Chile: Fondo de Cultura Económica Chile S.A.

Fayos Gardó, Antonio (2016). *La propiedad intelectual en la Era Digital*. Madrid: Dykinson, S. L.

Fernández, Christian (1986). *Diseño, comunicación y nuevas tecnologías*. Barcelona.

Fernández Moreno, Anabel (2015). *¿De quién es ese Rembrandt? Reflexiones en torno a la singularidad del procomún y los museos*. Colección Museología y patrimonio, Gijón: Trea.

Fernández Sánchez, Manuel Carlos (2001). *La Imagen tridimensional*. Sevilla: S.L Mergablum Edición y Comunicación.

Feynman, Richard Phillips (2006). *¿Qué significa todo eso?*. Barcelona: Crítica.

Fiódorov B., Tsibulkin, L. (1992). *Holografía*. Madrid: Editorial MIR.

Fontcuberta Villa, Joan (2002). *El beso de Judas: Fotografía y verdad*. Barcelona: Gustavo Gili,

Francon, Maurice (1972). *Holografía*. Madrid: Paraninfo.

Fructuoso Navarro, Ros (2011). *Fotografía 3D: Añade una nueva dimensión a tus fotografías*. Ed. Anaya Multimedia.

Frutos Esteban, Francisco Javier (2011). *Los ecos de una lámpara maravillosa*. Universidad de Salamanca: Ediciones Universidad de Salamanca.

Gabor D. y Stroke G.W. (1969). *Holography and its applications*. Endeavor 28.

García, Alberto Luis (2000). **[Tesis Doctoral]** *Realidad Virtual*. Dirigida por Hipólito Vivar Zurita. Universidad Complutense: Facultad Ciencias de la Información.

García Ramos, Consuelo (2003). **[Tesis Doctoral]** *Análisis de las claves representativas de lo tridimensional y los espacios holográficos*. Universidad Complutense de Madrid: Facultad de Bellas Artes.

García Robles, Rocío (2008). **[Tesis Doctoral]** *La Holografía en el Arte Contemporáneo*. Universidad de Sevilla.

Gómez E., Coronado R., González J., Valencia M., González J.M., De León E., Otero E., Santamaría M^aJ., en su estudio *Aplicaciones de la holografía digital al análisis de imágenes médicas, la descripción*. Departamento de Física Aplicada III, ESI-Universidad de Sevilla

González García, Marta Isabel; López Cerezo, Jose Antonio; Lujan López, Jose Luis (1996). *Ciencia, tecnología y sociedad: una introducción al estudio social de la ciencia y la tecnología*. Madrid: Tecnos.

Gibson, William (1997). *Neuromante*. Madrid: Ediciones Minotauro.

Hernández García, Iliana (2005). *Estética, ciencia y tecnología*. Creaciones electrónicas y numéricas. Editorial Pontificia Universidad Javeriana.

Hockney, David (2001). *El conocimiento secreto. El redescubrimiento de las técnicas perdidas de los grandes maestros*. Barcelona: Destino.

H. Wilhelmsson (1968). *Holography: A new scientific technique of possible use to artists*, Leonardo, Vol. 1.

Iovine, Jhon (1992). *La holografía: una guía fácil para hacer hologramas*. Madrid: Serie McGraw-Hill.

Johnston, Sean. F. (2006). *Absorbing new subjects: holography as an Analog of photography*. Physics in Perspective, vo. 8.

J. Planells, Antonio (2015). *Videojuegos y mundos de ficción. De Super Mario a Portal*. Madrid: Editorial Cátedra Signo e Imagen.

Kenneth J. Gergen (2003). *El yo saturado: dilemas de identidad en el mundo contemporáneo*. Ed. Paidós Ibérica.

Kluitenberg, Eric (2006). *The book of imaginary media: Excavating the Dream of the Ultimate Communication Medium*. Róterdam: Nai Publishers.

Kuhn, T.S. (2013) *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica, capítulo II.

Kurman, Melba; Hod Lipson (2014). *La revolución de la impresión 3D*. España: Anaya Multimedia.

Landes, David Saúl (2010). *Revolución en el tiempo*. Barcelona: Crítica.

López Cantos, Francisco (2014). *La Holografía en el siglo XXI: de las heliocromías a las técnicas digitales*. Estado del arte. Gran Bretaña: Publicia.

López Pombo, Héctor (2010). **[Tesis Doctoral]** *Análisis y desarrollo de sistemas de Realidad Aumentada*. Universidad Complutense de Madrid: Facultad Ciencias de la Información.

Lozano-Hemmer, Rafael (2000). *Alzado Vectorial, Arquitectura Relacional* No. 4. México: Conaculta y Ediciones San Jorge.

Martín-Gago, José Ángel; Briones, Carlos; Casero, Elena; A.Serena, Pedro (2014). *El nanomundo en tus manos. Las claves de la nanociencia y la nanotecnología*. Barcelona: Crítica.

Maldonado, Tomás (1994). *Lo real y lo virtual*. Barcelona: Gedisa.

Martín Pascual, Pablo (1998). *El libro de la holografía*. Madrid: Alianza.

Marzo, Jorge Luis; Badia, Tere; Sánchez, Rosa (1999). *Singular Electrics. Sobre tecnologías particulares*. Barcelona: La Fundacio Joan Miro.

Marx, Karl (2000). *El Capital*, Libro I. Madrid: Akal.

Mattelart, Armand; Vitalis André (2015). *De Orwell al cibercontrol*. Barcelona: Gedisa editorial.

Michael Benedikt (1991). *Introduction to Cyberspace: First Steps*. MIT Press.

Mumford, Lewis (2013). *El mito de la máquina, 1. Técnicas y evolución humana*. Logroño: Pepitas de calabaza.

Múnera Ortiz, Natalia (2013). **[Tesis Doctoral]** *Interferometría Holográfica Digital en Tiempo Real: Aplicación en la Cuantificación de Deformaciones Mecánicas*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias, Escuela de Física Medellín.

Murray, Janet H. (2000). *Hamlet en la Holocubierto. El futuro de la narrativa en el ciberespacio*. Barcelona: Paidós Multimedia.

Oliva Molina, Justo (1992). *Holografía: ciencia y arte*. Madrid: Ministerio de Cultura.

Orwell, George (2013) 1984. ES: Debolsillo.

Pazmiño Benavides, Priscila Alexandra (2010). **[Tesis Doctoral]** *El impacto de las redes sociales y el internet en la formación de los jóvenes de la Universidad Politécnica Salesiana: Caso carrera de Comunicación Social Sede Quito*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Facultad de Ciencias Humanas y de la Educación.

Ponferrada, Sala de exposiciones de la obra cultural (1985). *¿Qué es holografía?*, Ed. Caja León, Obra Cultural, Recuperado el 13 de septiembre de 2014, de la Biblioteca Reina Sofía

Postman, Neil (1994). Tecnópolis. *La Rendición de la cultura a la tecnología*. Barcelona: Galaxia Gutenberg Círculo de Lectores.

Psarra, Afroditi (2014). **[Tesis Doctoral]** *Ciberpunk y arte de los nuevos medios: performance y arte digital*. Dirigida por Jaime Munárriz Ortiz. Universidad Complutense de Madrid: Facultad de Bellas Artes.

Quintana Montón, D. Manuel (2010). *Más de medio siglo de la Holografía*. Discurso de ingreso. Real Academia de las Ciencias Exactas, Físicas, Químicas y Naturales de Zaragoza

Ritscher, E. Reilly, J. Lambe, J. y R. Macarthur (1983). *Light Dimensions. The Exhibition of the Evolution of Holography*. Londres: Ardentbrook.

Rivero Rivero, A. (1997). **[Tesis Doctoral]** *El modelo digital en la producción de imagen*. España, Universidad de La Laguna.

Ruiz Torres, David (2013). **[Tesis Doctoral]** *El papel de la Realidad Aumentada en el ámbito artístico-cultural: la virtualidad al servicio de la exhibición y la difusión*. Dirigida por la Dra. M^a Luisa Bellido Gant. Universidad de Granada.

Ruiz Torres, David (2013). *La Realidad Aumentada y su aplicación en el patrimonio cultural*. Gijón, Asturias: Trea D.L.

Ryan, Marie-Laure (2004). *La narración como Realidad Virtual. La inmersión y la interactividad en la literatura y en los medios electrónicos*. Barcelona: Ediciones Paidós.

Sánchez Navarro, Jordi (2004). *Realidad Virtual, visiones sobre el ciberespacio*. Barcelona: Devir Contenidos S.L.

Sánchez Vigil, Juan Miguel (2007). *Del daguerrotipo a la Instamatic*. Autores, tendencias, instituciones. Gijón (Asturias): Ediciones Trea S. L.

Schlereth, Thomas J. (1982). *Material culture studies in America: An Anthology*. Nashville: Altamira Press.

Senges, Max (2007). *Second life*. Barcelona: Editorial UOC.

Sierra Sánchez, Javier; García García Francisco (coords.) (2014). *Tecnología y narrativa audiovisual*. Madrid: Editorial Fragua.

Silva Otero, Arístides; Mata de Grossi, Mariela (2005). *La llamada Revolución Industrial*. Caracas, Universidad Católica Andrés Bello: Publicaciones UCAB.

Tornero Lorenzo, Paz (2013). **[Tesis Doctoral]** *Tecnologías de la creatividad: Conexiones entre arte y ciencia en la contemporaneidad*. Universidad Complutense de Madrid: Facultad de Bellas Artes.

Torralba, Nieves (1996). *Holografía artística. Holografía creativa española 1983-1993*. Alicante: Colección Paarte.

Tricoles, G. (1987). *Computer Generated Holograms: an historical review*, App. Opt, 26.

Turkle, Sherry (1997). *La vida en la pantalla*. Editorial Paidós.

Unterseher, Fred; Hansen, Jeannene; Schlesinger, Bob (1987). *Holography handbook: making holograms the easy way*. Berkeley (California): Ross Books.

Vaughan, William (2012). *Modelado Digital*. Madrid: Ediciones Anaya Multimedia (GRUPO ANAYA, S.A).

Virilio, Paul (1994). *Visión Machine*, Bloomington, EE.UU: Indiana University Press.

Virilio, Paul (1997). *La velocidad de liberación*. Buenos Aires: Manantial.

Whitaker, Reg. (1999). *El fin de la privacidad. Cómo la vigilancia total se está convirtiendo en realidad*. Barcelona: Paidós Comunicación.

Wilhelmsson, H. (1968). *Holography: A New Scientific Technique of Possible use to Artists*. Leonardo, Vol. 1, pp.161-169.

Wolf, Maryanne (2008). *Cómo aprendemos a leer: historia y ciencia del cerebro y la lectura*. Barcelona: S.A. Ediciones B.

Zafra, R. (2010). *Un cuarto propio conectado. (Ciber)espacio y (auto)gestión del yo*. Madrid: Fórcola.

Zunzunegui, S. (2007) *Pensar en la imagen*. Madrid: Cátedra.

Artículos

Bob G. Witmer y Michael J. Singer. (1998). Measuring presence in virtual reality environments: a presence questionnaire. U. S. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences, nº7, pp. 225-40

Fernández Sánchez, M. C. (2000). Revista Latina de Comunicación Social: Versión electrónica, *Imágenes en tres dimensiones*, vol. 3, nº 31.

Frederick Aardema, Kieron O'Connor, Sophie Côté, Annie Tailon, M. Sc. (2010) *Virtual Reality Induces Dissociation and Lowers of Presence in Objective Reality*. Cyberpsychology, Behavior and Social Networking, Mary Ann Liebert, Inc. Vol. 13, nº 0.

Gabor D. and Stroke G.W. (23 de Abril de 1969). *The theory of deep holograms*, (publicado por The Royal Society)

Hilaire P. St., Benton S.A., Lucente M., and Hubel P.M. (1992). *Color images with the MIT holographic video display*, in: S.A. Benton, ed., SPIE Vol. 1667, Practical Holography VI paper 1667.

Ishii, Setsuko. (2012). *Artistic Representation with Pulsed Holography*, 9th International Symposium on Display Holography (ISDH2012) IOP Publishing, Journal of Physics: Conference Series 415 (2013) 012001.

Katz, Claudio. (1996) *La concepción marxista del cambio tecnológico*. Buenos Aires: Pensamiento económico, nº 1.

Leith Emmett Norman (1976). Diciembre de 1976, *Hologramas de luz blanca*. Barcelona: Investigación y ciencia nº3.

Martin J. Richardson (2007). *The Prime Illusion: Modern Holography in the New Age of Digital Media*. United Kingdom : Holographic Image Studio.

Myron W. Krueger (1993). *The Experience Society*. MIT Press Journal, Presence. Spring. Vol. 2, nº 2.

Nobert Nobis (1985). *¿Es la holografía un medio adecuado para el arte?*, *Holografía: Arte y Técnica*, Barcelona: Fundació Caixa de Pensions, Museu de la Ciència.

Oliveira S. y Richardson M., *The future of holographic technologies and their use by artists*, 9th International Symposium on Display Holography (ISDH2012) IOP Publishing, Journal of Physics: Conference Series 415 (2013) 012007.

Rebecca Coyle & Phillip Hayward (1995). *Holographic Art in Australia*. Sydney: Power Publications. Ch 2 "Margaret Benyon: The Founding of Holographic Art".

Wilson, J.R. (1996). *Effects of participating in virtual environments: A review of current knowledge*. Safety Science, Vol. 23, nº1.

Yin-Ren Chang. *Drawing Lines with Light in Holographic Space*. 9th International Symposium on Display Holography (ISDH2012) IOP Publishing, Journal of Physics: Conference Series 415 (2013) 012021.

Artículos web

Álvarez Junco, Manuel (2010). [catálogo] Encuentros Digitales_digital encounters. Madrid: Universidad Complutense de Madrid, D.L.

Anderson, Ken; Fotheringham, Edeline; Hill, Adrian; Sissom, Bradley; Curtis, Kevin (Octubre 2015). *High speed holographic data storage at 500 Gbit/in*. Recuperado el 13 de Agosto de 2016 de **akoniaholographics.com/wp-content/uploads/2014/04/HighSpeedHDS500Gbin2.pdf**

Ardillo, José (Marzo 2010). *Lewis Mumford y el mito de la Máquina*. Revista Artefacto, pensamientos sobre la técnica. Recuperado el 28 de marzo de 2015 de **www.revista-artefacto.com.ar/pdf_textos/38.pdf**

Ashley, J. Bernal, M. P. Burr, G. W. Coufal, H. Guenther, H. Hoffnagle, J. A. Jefferson, C. M. Marcus, B. Macfarlane, R. M. Shelby, R. M. Sincerbox G. T. (Mayo 2000) Holographic data storage. IBM journal of research and development. Vol.44 Issue 3. IBM Corp. Riverton, NJ, USA. Recuperado el 13 de Agosto de 2016 de **ibm.com**

Beléndez, A. (2007): Lección inaugural. *Holografía: ciencia, arte y tecnología*. Disponible en Recuperado el 15 de febrero de 2016 de **web.ua.es/es/protocolo/documentos/lecciones/leccion-inaugural-2007-2008.pdf**.

Lección inaugural *Holografía: ciencia, arte y tecnología* impartida por el autor el 28 de septiembre de 2007 en el solemne acto de apertura del curso académico 2007-2008 de la Universidad de Alicante, España. Recuperado el 15 de febrero de 2016 de **www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172009000100011#not01**

Cañigüeral, Albert (Febrero 2014). *Consumo compartido: un nuevo tipo de negocio que juega al alza*. Harvard Deusto Marketing & Ventas. Número 121. Recuperado el 10 de Marzo de 2014 de **harvard-deusto.com**

Mathew Ponsford and Nick Glass, CNN. 14 de Febrero de 2014. *The night I invented 3D printing*. Recuperado el 14 de Febrero de 2014 de **edition.cnn.com/2014/02/13/tech/innovation/the-night-i-invented-3d-printing-chuck-hall/#**

De La Osa, Jesús (Julio 2013). *Tener o disfrutar*. Esposible, número 36. Recuperado el 2 de Septiembre de 2013 de revistaesposible.org

Gómez E., Coronado R., Gonzalez J., Valencia M., González J.M., De León E., Otero E., Santamaría M^aJ. *Aplicaciones de la holografía digital al análisis de imágenes médicas*, Departamento de Física Aplicada III, ESI-Universidad de Sevilla. Comunicación en congreso. Reunión Nacional de Óptica. Santander. 2003 7^a Reunión Nacional de Óptica: Actas de la Reunión.

Gregori, Javier (Madrid, 3 de Noviembre de 2014). *Científicos españoles desarrollan un nanosensor ultrasensible que detecta el cáncer*, Cadena Ser. Consultada el 5 de Diciembre de 2014. Recuperado el 5 de Diciembre de 2014 de cadenaser.com

Guerrero, Teresa (5 de Junio de 2014). *Arte que se desvanece*. Diario El Mundo. Recuperado el 19 de Agosto de 2014 de elmundo.es/tecnología.html

Huttel, Yves; Román, Elisa; Martínez Orellana, Lidia (20 de Junio de 2014). *Desde la nanociencia básica hasta el producto comercial*. Diario El Mundo. Recuperado el 16 de Junio de 2014 de elmundo.es/tecnología.html

Jones, Andrew; McDowall, Ian; Yamada, Hideshi; Bolas, Mark; Debevec, Paul; Sony Corporation; Fakespace Labs y la Universidad del Sur de California. (2007). *Rendering for an Interactive 360° Light Field Display*. ACM SIGGRAPH conference proceedings Recuperado el 8 de Mayo de 2013
gl.ict.usc.edu/Research/3DDisplay/3DDisplay_USCICT_SIGGRAPH2007.pdf

Kelion, Leo; (28 de Agosto de 2013). *Skype confirms 3D video calls are under development*, BBC News Technology. Recuperado el 18 de Septiembre de 2013 de bbc.com/news/technology-23866593

Kelly, Kevin (21 de Junio de 2009). *Better Than Owning*. Recuperado el 5 de Enero de 2013 de kk.org/thetechnium

Leo Kelion, (28 de Agosto de 2013). *Skype confirms 3D video calls are under development*. Recuperado el 15 de Agosto de 2014 de bbc.com/news/technology

López Cantos, Francisco (Castellón, 26 de Agosto de 2010). *La imagen científica: tecnología y artefacto*. Revista Mediterránea de Comunicación. Recuperado el 8 de Agosto de 2014 de Academia.edu

Martín Gago, José Ángel (9 de Junio de 2014). *Los extremos se tocan: cuando el mundo nano encuentra el cosmos*. Diario El Mundo. Recuperado el 19 de Agosto de 2014 de elmundo.es/tecnología.html

Martínez, Ana I. (Madrid, 25 de Noviembre de 2013). *Jack Andraka el niño que ha ideado un prometedor método para la detección precoz de cáncer*. Periódico ABC. Recuperado el 13 de

Febrero de 2014 de **abc.es/sociedad.html**

Oulasvirta, Antti. (New York, Marzo 2008). *Pencils before pixels: a primer in band-generated. When users do the Ubicomp*. Recuperado el 16 de Septiembre de 2015 de Magazine interactions. vol 15. **acm.org**

Press, Gil (5 de Septiembre de 2013). *A Very Short History Of Big Data*. Revista Forbes. Recuperado el 20 de Diciembre de 2013 de **forbers.com**

Rivera, Alicia (18 de Junio de 2013). *El grafeno es imparable*. Periódico El País Recuperado el 26 de Noviembre de 2013 de sociedad.**elpais.com/sociedad.html**

Rogers, Yvonne (Orange Country, California. Septiembre 2006). *Moving on from weiser's vision of calm computing: Engaging ubicomp experiences*. Ubicomp 2006: 8th International Conference. Recuperado el 15 de Octubre de 2013 de **Scholar.google.com.ar**

Romero, Sarah (30 de Julio de 2014). *Una aplicación que diagnostica enfermedades hereditarias*. Revista Muy Interesante. Recuperado el 25 de Agosto de 2014 de **muyinteresante.es/innovación/medicina**

Serena, Pedro (25 de Junio de 2014). *Nanotecnología en el CSIC: muchas luces y algunas sombras*. Diario El Mundo. Recuperado el 2 de Julio de 2014 de **elmundo.es/tecnología.html**

Suderman, Peter (5 de Noviembre de 2009). *Your brain is an index*. The American Scene. Recuperado el 24 de Enero de 2013 de **theamericanscene.com**

Uchek, (Madrid, 4 de Marzo de 2013). *Convierte tu smartphone en un laboratorio*. Periódico ABCtecnología. Recuperado el 21 de Mayo de 2014 de **abc.es/tecnología.html**

USC Institute for Creative Technologies y Activision Inc. (2013). *Digital Ira: Creating a Real-Time Photoreal Digital Actor*. SIGGRAPH 2013 Realtime Live. New York, NY, USA Recuperado el 3 de Enero de 2014 de **gl.ict.usc.edu/Research/digitalira/digitalIraPoster.pdf**

Walsh, Bryan (17 de Marzo de 2011). *Today's Smart Choice: Don't Own. Share*. Revista TIME. Recuperado el 8 de Enero de 2013 de **Content.time.com**

Watz, Marius (Brooklyn, Julio 2013). *All your vectors are belong to us*. TM51 Gallery. Recuperado el 10 de Diciembre de 2013 de **tm51.no**

Weinschenk, S. (2010). *The Psychologist's View of UX Design*. Recuperado el 8 de Enero de 2014 de **uxmag.com/articles/the-psychologists-view-of-ux-design**

Weiser, Mark (1991). *The Computer for the 21st Century*. Scientific American. vol 265. Recuperado el 3 de Octubre de 2013 de **wiki.daimi.au.dk/pca/_files/weiser-orig.pdf**

Direcciones de internet

consumocolaborativo.com web de *Consumo Colaborativo*. Plataforma de noticias. Recuperado el 16 de Febrero de 2015.

Delgado A., 24 de Junio de 2014 *España Desconectada*, http://www.eldiario.es/turing/propiedad_intelectual/Espana-desconectada_0_284522489.html

Recuperado el 18 de Marzo de 2016.

erc.europa.eu web del *Consejo Europeo de Investigación*. Recuperado el 20 de Agosto de 2014.

nanospain.org web *Red NanoSapin*: Punto de encuentro de la Nanotecnología española. Recuperado el 22 de Abril de 2014.

ouishare.net plataforma internacional. Dirigida a una comunidad de emprendedores, investigadores, diseñadores,... que trabajan para acelerar la transición de la economía compartida. Recuperado el 1 de Mayo de 2016.

redada.es encuentros para ayudar a entender los cambios que las nuevas tecnologías están produciendo en la sociedad. Recuperado el 8 de Junio de 2015.

ubiq.com plataforma de *Mark Weiser*. Computación oblicua. Recuperado el 23 de Agosto de 2014.

organovo.com compañía de investigación médica y aplicaciones terapéuticas. Desarrollan tejidos humanos con impresión 3D. Recuperado el 26 de Julio de 2015.

SocialDiabetes.com Plataforma creada por Victor Bautista, para diagnosticar y gestionar la diabetes. Recuperado el 25 de Marzo de 2014.

horus.es/ss/ *Accenture* ha colaborado con la Comunidad de Madrid para crear el sistema de historial médico electrónico de Madrid (Horus). Recuperado el 29 de Septiembre de 2016.

imax.com Página oficial de *IMAX*, compañía de entretenimiento, de tecnología y distribución. Se considera un integrante de Hollywood que se asocia con cineastas más célebres para mejorar sus películas, además de ser una empresa mundial. Recuperado el 5 de Marzo de 2015.

thingiverse.com plataforma web para descargar o subir objetos 3D en formatos. STL o.OBJ. Se emplea para imprimir modelos en una impresora 3D. Recuperado el 6 de Abril de 2016.

makerbot.com Página oficial de la marca *Makerbot Industries*. Comercializa tecnologías de última generación. Recuperado el 12 de Octubre de 2015.

reprapbcn.com La *fundación CIM* transfiere conocimientos de ingeniería y gestión de la tecnología a las empresas y profesionales facilitando tecnologías de producto mediante la realización de proyectos R+D+i. Recuperado el 13 de Octubre de 2015.

web.mit.edu/museum/ web MIT Museum. Recuperado el 30 de Enero de 2016.

holography.co.uk *3D Imaging and Holography Group*. Recuperado el 24 de Mayo de 2014.

colorcode3d.com/ColorCode_3-D.html Página web de *Colorcode*. Recuperado el 18 de Noviembre de 2015.

dolby.com/us/en/technologies/dolby-3d.html *Dolby 3-D*. Consultado el 29 de Noviembre de 2014.

museeholographie.com Museo de holografía de Anne-Marie Christakis, situada en París, Francia. Recuperado el 6 de Diciembre de 2015.

ultimate-holography.com *Ultimate Holography*. Recuperado el 5 de Mayo de 2014.

holoforum.org/forum/ *Holoforum*. Recuperado el 9 de Febrero de 2015.

holoworld.com *Holoworld*. Recuperado el 19 de Febrero de 2015.

holocenter.org Holocenter. *Center for the Holographic Arts*. Recuperado el 7 de Diciembre de 2014.

pearljohn.co.uk/content/ Blog de *Pearl Jhon*. Recuperado el 10 de Marzo de 2014.

betsyconnors.com Página oficial de *Betsy Connors*. Recuperado el 10 de Marzo de 2014.

pauladawson.com Página oficial de *Paula Dawson*. Recuperado el 10 de Marzo de 2014.

martina-m.com Página oficial de *Martina Mrongovius*. Recuperado el 12 de Marzo de 2014.

anamarianicholson.com Página oficial de *Ana Maria Nicholson*. Recuperado el 12 de Marzo de 2014.

lenticulartechnology.com/history-lenticular-autostereoscopic-methods/ Historia de la lente lenticular y Métodos autoestereoscópicos. Recuperado el 16 de Marzo de 2015.

google.com/get/cardboard/ Recuperado el 19 de Agosto de 2016.

developers.google.com/cardboard/ *Google Cardboard*. Recuperado el 9 de Septiembre de 2016.

oculus.com web oficial de la compañía *Oculus VR*. Recuperado el 16 de Octubre de 2016.

playstation.com/es-es/explore/ps4/features/project-morpheus/ *Proyecto Morpheus de PS4*. Recuperado el 12 de Abril de 2016.

vrse.com *vrAse The Smartphone Virtual Reality Case*. Recuperado el 8 de Mayo de 2016.

microsoft.com/microsoft-hololens/en-us *Proyecto Hololens de Microsoft*. Recuperado el 8 de Mayo de 2016.

[YouTube] **www.youtube.com/watch?v=GNoOiXkXmYQ#t=31** *Aerial Burton 3D display projects images into mid-air #DidInfo*. Recuperado el 29 de Octubre de 2014.

[YouTube] **www.youtube.com/watch?v=EndNwMBEiVU** *True 3D Display Using Laser Plasma Technology #DidInfo*. Recuperado el 13 de Noviembre de 2011.

[YouTube] **www.youtube.com/watch?v=5GL5tbii6zk** *Holographic Video and 3-D Television*, V. Michael Bove, MIT Museum. Recuperado el 22 de Marzo de 2012.

[YouTube] **www.youtube.com/watch?v=YKCUGQ-uo8c** *Research: Interactive 360° Light Field Display*. Recuperado el 31 de Agosto de 2007.

[YouTube] **www.youtube.com/watch?v=gyY8c0jtz_Y** *Takee: El primer Smartphone holográfico del mundo*. Recuperado el 22 de Julio de 2014

[Canal Youtube] *Holographic TV*, Massachusetts Institute of Technology. Recuperado el 21 de Enero de 2011

Anexos

Experiencia técnica

I.I Creación de un par estereoscópico

Esta sección versa sobre la técnica en la que se basa la *fotografía estereocópica*, con la finalidad de que el lector adquiera el conocimiento básico para preparar un anáglifo y, sobre todo, en qué consiste su proceso de elaboración.

Como se alude en el apartado “*Sistemas de visionado óptico-mecánico*” (pag.148), además del anáglifo, existen otros tipos de estereogramas, como el estereograma de puntos aleatorios, la imagen autoestereoscópica y autoestereograma (sistema de visión libre) o la imagen lenticular. En todas las técnicas se obtienen una ilusión de profundidad mediante un par de imágenes 2D. Aquí el estudio se centrará en la elaboración de un anáglifo, que como veremos es una técnica muy simple y elemental. Cabe destacar que los formatos digitales han permitido perfeccionar los mecanismos que hacen posible la capacidad visual.

Actualmente se confeccionan con cámaras digitales, lo que permite una mayor rapidez en el procesado de las imágenes y realizar las tomas necesarias; por el contrario, si se decidiera emplear una cámara analógica, la ejecución sería más laboriosa por el proceso de revelado. Por otra parte, la utilización de una cámara analógica nos privaría de la posibilidad de visualizar la fotografía después de haber sido tomada.

A diferencia de la lámina lenticular, que requiere de un preparamiento previo de la imagen para que una imprenta especializada en este sector pueda rematar y terminar el trabajo, el anáglifo se realiza de una manera más práctica sin la necesidad de recurrir a la ayuda de empresas externas.

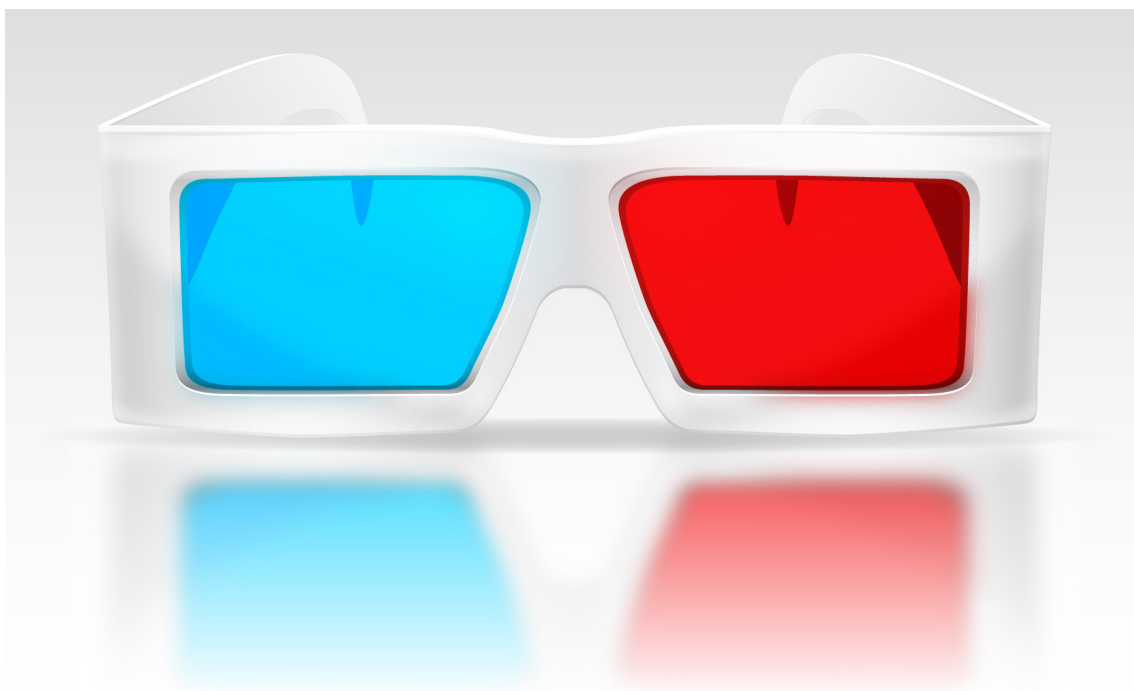


Fig. 99 Gafas 3D anaglíficas.

Crear el par estereoscópico

El par estereoscópico o estereograma es el formado por las imágenes que constituirán la imagen en tres dimensiones, y que consiste en dos imágenes de la misma escena, pero tomadas desde ángulos diferentes. Dichas imágenes simulan la visión humana, ya que reflejan lo que ha sido captado por cada ojo (toma derecha y toma izquierda). Para su visualización se requiere de gafas anaglíficas, mediante filtros de colores distintos, hacen llegar a cada ojo únicamente la imagen que le corresponde, creando el efecto estereoscópico.

Las imágenes anaglíficas pueden ser creadas de diversas maneras: empleando los de negativos, colorearlas con ayuda de un ordenador, o proyectar diapositivas desde dos proyectores equipados con filtros. En este caso, las fotografías, se manipularán con un programa de edición en valores RGB, que serán tratadas con filtros de colores distintos. Una vez realizado esto, se superponen ambas imágenes para que puedan ser visualizadas con unas gafas polarizadas como las que se ven en la imagen.

Cabe destacar que existen numerosas aplicaciones en el mercado para la elaboración de un anaglifo, sin embargo no son muy prácticas en la operatividad y funcionalidad, y pueden crear cierta confusión.

El anaglifo presenta ciertas limitaciones que le impiden ofrecer mayor rendimiento en el resultado de su efecto dinámico, algo esencial ya que es lo que genera mayor fuerza en el mensaje, y puede captar la atención del espectador. Hay otras técnicas que por medio de procesos optimizados están consiguiendo un mejor aspecto, como es el caso de las láminas lenticulares. Las impresoras UV (Offset y Digital) son cada vez son más sofisticadas y accesibles.

Los materiales

El proceso de elaboración depende estrechamente de los materiales a utilizar. Los materiales básicos son:

- Dependiendo de cómo se quiere hacer la toma, se puede incluir dos cámaras situadas de lado a lado o bien moviendo una cámara de lado a lado. También existen cámaras con dos objetivos, que tienen la ventaja de que pueden captar el movimiento debido a que el disparo es simultáneo, captando lo mismo por ambos objetivos. Al contrario del empleo de una única cámara, este método está limitada a escenas estáticas. Por otro lado, al tener los objetivos fijos, está limitada a la distancia entre las ópticas y con los ángulos de paralaje, aspectos relacionados con el concepto de relieve.
- Un Trípode o un soporte permite deslizar o desplazar la cámara en el eje horizontal.

La utilización del trípode no es imprescindible, pero en algunas situaciones es necesario para las velocidades de obturación baja o bajas condiciones lumínicas. De esta manera se evitará el ghosting (efecto fantasma).

El movimiento lateral debe estar realizado a la misma altura para lo que se toma puntos de referencia, sobre todo si no se emplea un soporte.

El empleo de dos trípodes evita el desplazamiento lateral, pero deben tener las mismas cualidades para mantener la altura exacta.

Un método de referencia para realizar el desplazamiento de la cámara en la segunda toma es trazar una línea horizontal para obtener la longitud entre el punto inicial y el trípode.

Otra opción son las Barras de sujeción, que pueden ser de construcción casera¹⁵⁰, o bien modelos sofisticados. Se trata de un mecanismo muy simple que permite mantener fijados y unidos los equipos por una base. Normalmente existen dos modelos de barras laterales: la que permite mantener unidas las dos cámaras en una misma base, y la que permite realizar un desplazamiento lateral de una sola cámara a una medida fija.

- Ordenador para tratar posteriormente las imágenes tomadas.

Algunas pautas para las tomas

Para crear el par estéreo si se emplean dos cámaras. Ambas cámaras deben ser idénticas, ya que la posición, la simetría y la sincronización deben estar ajustadas a la perfección para obtener un buen resultado.

Las cámaras pueden adoptar distintas posiciones en las que se podría situar la cámara, teniendo en cuenta la distancia entre sus ejes ópticos. En caso de que la posición en la que se unen las cámaras sea en vertical, el resultado obtenido será una imagen invertida; por tanto, hay que editar la imagen para ponerla en la posición

150. Pueden estar hechos de distintos materiales como de madera, aluminio o plástico. Fructu Navarro, en su libro *Fotografía 3D*, clasifica tres tipos de soportes caseros: el separador de vaivén que consiste en dos piezas situadas una sobre otra y unidas por unos brazos móviles; el separador deslizante, permite las tomas de ambos ángulos haciendo que la cámara se mueva; y el separador giratorio que consiste en una base-soporte de madera a modo de mango enroscable que haga de eje.

correcta junto a la otra imagen.

Por ejemplo, si los sensores no son iguales en ambas cámaras tendríamos un problema, porque generalmente en todas las cámaras la diagonal que cruza el sensor determina la distancia focal para la lente; por tanto no obtendremos un buen resultado si los objetivos tienen distintas las medidas (mm) de una cámara u otra.

Además los formatos de los sensores deben ser exactos, nos ahorramos muchos problemas si las tomas son con idéntico número de bits, es decir, misma resolución y mismos espacios de color.

Por otro lado, la exposición con un flash (incorporado a la cámara) tiene muchos inconvenientes. El primero la sincronización del flash con ambos obturadores en el momento en que estén abiertos, ya que si hubiese algún tipo de retardo en el disparo combinado, una de las imágenes quedaría con más luz que la otra. Segundo, los ángulos emitidos por la luz del flash (por defecto el ángulo normal son 500) y tercero, disparar ambos flashes conllevaría a crear una sombra se produciría desde lados distintos, haciendo desplazar las sombras, algo que dificultaría el proceso de fusión e incidiría en el posterior visionado.

Con este método también se pueden realizar las tomas a mano alzada, en cuyo caso es mejor disponer de un objetivo angular, ya que al ser mas luminosos se pueden obtener mejores resultados y no son tan severos en cuanto a las variaciones o errores de exposición.

El desplazamiento de la cámara debe mantenerse en posición horizontal-lateral con un movimiento suave, sin realizar basculaciones laterales o frontales entre las tomas. Ambas tomas deben ser idénticas, por este motivo no se puede hacer fotografías a cosas que están en movimiento, sólo pueden ser estáticas.

Edición digital: cómo crear los anaglifos

Una vez realizadas las dos imágenes, es decir el par estereográfico, se procede a la edición digital para ponerlas una sobre la otra, consiguiendo interpretar su visionado a través de las gafas con cristales cromáticos.

El modo de crear anáglifos ha cambiado considerablemente, realizándose antes con métodos mas rudimentarios como el empleo películas negativas y la colocación de filtros delante de la cámara o durante el proceso de revelado. Esto requería de una gran complejidad, ya que de las aplicaciones para imprenta (revistas, libros, cómics,...) se necesitaban numerosas tiradas, algo que ahora está mas a nuestro alcance gracias a las nuevas tecnologías.

Para el procesado de los anáglifos o imágenes estereoscópicas de colores complementarios es necesario el empleo de un ordenador, donde normalmente se emplean *software* de edición. En este caso la explicación se basará en la ejecución con el programa Adobe Photoshop¹⁵¹, usado principalmente para el retoque de fotografías y gráficos.

151. Es un editor de gráficos rasterizados desarrollado por Adobe Systems Incorporated y es líder mundial de mercado de las aplicaciones de edición de imágenes.

Archivo > Secuencia de comandos > Cargar archivos en pila >
Botón Explorar, se abre menú para buscar la ubicación de las imágenes.
Otra forma de abrir los archivos, también puede ser:
Archivo > Abrir (buscar imagen)
Una vez encontradas, las imágenes se mostrarán en capas.
Obviamente estas deben estar nombradas para recordar a qué lado pertenece cada una de ellas.

Primero vamos a determinar un color para cada uno de los ángulos

Comenzaremos con la imagen de la izquierda, y vamos a ajustar la saturación a 10.
Imagen > Ajustes > Tono Saturación
Ahora tendremos que eliminar los colores verde y azul, poniendo ambos valores a cero, eso nos dará la imagen roja que estamos buscando para el ojo izquierdo.
Abrimos el histogramas de niveles
Imagen > Ajustes > Niveles
Bajamos el nivel verde en su valor de salida a 0 y deslizamos el manejador de salida totalmente a la izquierda.
De esta manera ya habremos eliminado el componente verde, ahora hay que eliminar totalmente el componente azul. Volvemos a hacer la misma tarea en la imagen de la izquierda.
Imagen > Ajustes > Niveles
Esta vez se selecciona el canal azul que tendremos que poner en su valor de salida a 0.
Volvemos a deslizar el manejador de salida tal, totalmente a la izquierda.
(imagen)
Ahora tendremos que eliminar los colores para crear la imagen del lado derecho, es decir bajamos el valor del componente rojo.
Imagen > Ajustes > Niveles (histograma de niveles)
En la pestaña RGB marcamos “rojo” y, como hemos hecho anteriormente, hacemos que el valor baje a cero y deslice el manejador de salida a la izquierda; lo que obtendremos, por tanto, es una imagen cian, eliminando el componente rojo.

En este momento habremos obtenido dos imágenes: el ángulo derecho tiene una tonalidad cian, y el ángulo izquierdo una tonalidad roja.
Ahora seleccionamos las imágenes, copiamos y las pegamos en un documento nuevo, teniendo en cuenta que la última imagen que copiamos tiene que quedar sobre la anterior, es decir la imagen roja sobre la imagen de cian.

Cambiamos en la imagen roja el modo de capa a “Trama”.
Y por último, alineamos las imágenes donde veamos que algunas partes coincidan, para luego separarlas ligeramente hasta finalmente conseguir el efecto tridimensional. Para esto sería muy útil emplear las gafas¹⁵² cromáticas, ya que se puede observar con más exactitud.

145. Deben tener los mismos colores con los que se han creado los anáglifos, de esta manera se producirá la separación y el relieve.

Otro método: Creación de un anáglifo en blanco y negro para crear imágenes en relieve.

Archivo > Abrir (buscar imágenes)

Una vez que ambas imágenes estén en el escritorio, se clasifican para ahorrar confusión.

Empezamos con la imagen de la izquierda ajustando la saturación de la imagen a -100% para quitarle todo el color y dejarla en escala de grises.

Imagen > Ajustes > Tono saturación

Esto no quiere decir que eliminemos los canales, tan sólo restamos valor de la saturación de los tres canales a la vez.

Ahora la imagen de la derecha, la cual actuará como receptora de los canales. Utilizamos un procedimiento diferente, eliminando sus canales de color.

Imagen > Modo > Escala de grises

Nos ponemos sobre la imagen de la izquierda y en el menú de los canales, donde podemos activar y desactivar las ventanas, dejamos seleccionados los canales verde y azul.

Ventana > Canales

Seleccionamos la imagen de la derecha (la que tiene escala de grises) y la copiamos para pegarla sobre la imagen de la izquierda (donde están activos los canales verde y azul).

Llegado este punto, hemos conseguido un anáglifo, pero necesitamos alinear las imágenes; para ello necesitamos modificar el punto donde ambos colores van a converger y van a hacer que la imagen gane profundidad.

Con las gafas puestas se procede a lo siguiente: en el menú de los canales, seleccionamos el canal rojo y la movemos con la herramienta V (flecha negra) hasta refinar la imagen.

En este método, como en el anterior, se precisará de la herramienta Recortar, porque probablemente parte de la imagen se ha quedado fuera de la fusión y posterior alineamiento, debido al movimiento de ambas imágenes para conseguir el punto de enfoque.

Otro método más sencillo: basándose en las preferencias avanzadas del programa.

Archivo > Secuencias de comandos > Cargar archivos en Pila

Botón Explorar, buscamos la ubicación de las imágenes. Se cargarán las imágenes en capas, donde la imagen de la derecha debe estar sobre la imagen de la izquierda.

Una vez que las imágenes están en el escritorio, las alineamos de manera en que coincidan algunos puntos, manipulando la opacidad de la capa superior (imagen derecha). Para ello ajustamos la opacidad a 50%.

Si las imágenes ya han sido alineadas, procedemos a lo siguiente:

nos situamos sobre la capa superior (imagen derecha) y hacemos doble clic para abrir el menú Estilo de capa.

Aquí desconectamos el canal rojo y aceptamos. El resultado es un anáglifo en pantalla.

Volvemos a subir la opacidad al 100% de la imagen derecha y finalmente acoplamos la imagen.

Capa > Acoplar imagen

Un problema, bastante habitual, nos lo encontramos a la hora de emplear los formatos de compresión para imágenes digitales. El más común es el formato JPG, en el cual los algoritmos que tratan la información cromática concluyen algunos píxeles del mismo color. Esta disminución de resolución hace que aparezca un efecto fantasma, que puede interferir en la visualización del anaglífico. Para mejorar la calidad de la imagen estéreo, hay programas que al exportar el formato te permiten desactivar la opción de sub-muestra de la crominancia.

Un gran problema con esta técnica se da cuando un elemento de la escena original tiene un color similar al de un filtro, ya que este elemento se verá muy claro a través de dicho filtro, resultando por contra muy oscuro en el filtro opuesto. Este hecho que causa un desequilibrio visual, en el cual el elemento parece parpadear. A este efecto lo llaman rivalidad retiniana.

Otro gran inconveniente es la prevención y reducción de los ya mencionados efectos fantasma. Estos son los residuos de los colores utilizados en el preceso de creación, que aparecen en el visionado cuando dichos colores se combinan. Normalmente este fenómeno se nota más en imágenes de alto o bajo contraste.

Las aplicaciones dedicadas a estas creaciones suelen estar provistas de un sistema de reducción de efectos fantasma. Para mejorar la imagen, las aplicaciones se encargan de reducir ciertos niveles o intensidades cromáticas.

Llegados a este punto, es interesante destacar la combinación de técnicas como imágenes de alto rango dinámico (HDR)¹⁵³ y un anáglifo en 3D.

En este caso se deben tomar tres fotos (normal, sobre y subexpuesta) por cada ángulo. Primero se combinan las HDR de cada lado y una vez obtenidas ambas imágenes se procede a la elaboración del anáglifo.

Esta técnica puede ofrecer un efecto con muchas posibilidades, incluso si fuera

146. Es una técnica que permite un mejor rango dinámico de luminancias entre las zonas más claras y las más oscuras de una imagen.

puesta en práctica para vídeos basados en HDR.

Muchos dispositivos, como por ejemplo los smartphone, ya ofrecen la prestación de realizar imágenes HDR, aunque podemos elaborarlas con cualquier programa de edición.

Desde photoshop:

Archivo > Automatizar > Combinar para HDR Pro

Botón Explorar, una vez aceptado, el programa procesará las imágenes para fusionarlas.

A continuación se abrirá una ventana de previsualización, donde se mostrará el resultado final y donde se podrán manipular los parámetros como los controles de Radio y Intensidad, Tono y el Detalle, el Color y, por último, el Contraste.

I.II Tipos de efectos lenticulares

Cada una de estos efectos tiene unas determinadas técnicas, especificaciones y pasos a seguir. Son las siguientes:

El efecto *flip* combina dos o más imágenes muy diferentes. Las imágenes van cambiando de una a otra a medida que el ángulo de observación varía. Las lentes más adecuadas para el efecto flip son las que están diseñadas con un ángulo de visión relativamente grande. Con esto se consigue que el observador vea las imágenes originales con facilidad debido a que los pequeños movimientos no producirán ningún salto de imagen. Son los grandes movimientos del observador o de la impresión los que provocan el salto de una imagen a otra.

El efecto de animación está compuesto de varias imágenes secuenciales que muestran pequeñas diferencias entre una imagen y la siguiente. El ángulo de observación desde el cual se ve la misma imagen es de tamaño medio. Normalmente los dos ojos suelen ver la misma imagen a la vez, pero pequeños movimientos del observador o de la impresión provocan el salto a la siguiente imagen de la secuencia.

Las impresiones lenticulares con efecto 3D consiguen que cada ojo vea una imagen diferente. Debido a la capacidad de visión estereoscópica del ser humano, el cerebro

integra ambas imágenes para generar una ilusión tridimensional sin necesidad de gafas especiales. El efecto 3D en capas consiste en generar la ilusión de profundidad a partir de varios objetos independientes separados en capas.

También se pueden obtener imágenes lenticulares con verdadero efecto 3D mediante el uso de programas de modelado 3D como StudioMax, Lightwave, Maya o Autocad. La mezcla de dos efectos diferentes, 3D y el efecto flip, es el último avance tecnológico en la impresión lenticular, y como los demás efectos, depende del tipo de lentícula que tenga la lámina. En este caso una lentícula semicurva con sus contornos rectos ayudará a mezclar ambos efectos.

La mezcla de los dos efectos es muy laboriosa en el aspecto que hay que preparar cada toma elegida para 3D y para flip. Es decir, dividiendo cada una en capas según los objetos que se desean resaltar a la vez, teniendo en cuenta la animación final que se desee obtener.

Funcionamiento de la impresión lenticular

La imagen impresa incorpora sobre sí misma un plástico transparente compuesto por unas microlentes, también llamadas lentículas. Cada lentícula actúa como una lupa que amplía y muestra la parte de la imagen que tiene debajo, dependiendo del ángulo de visión.

Existen diferentes diseños de lente lenticular. Por eso, el ángulo y la forma que tenga cada lentícula ayudan a generar distintos efectos visuales dependiendo del resultado que se quiera lograr; por ejemplo, las láminas con lentículas redondeadas y con ángulo estrecho entre ellas funcionarán para generar un efecto 3D.

Las láminas cuyas lentículas tienen una terminación en punta, y un ángulo bastante inclinado, son para crear el efecto flip. También existen láminas que incluyen lentículas semi-redondeadas, es decir, que tienen la parte superior redondeada, pero conforme se acerca a los extremos tiende a volverse recta; este tipo es bastante usado para realizar la mezcla de efectos 3D y flip.

Son muchas las variantes que existen, aquí hemos hablado de las más significativas.

El ángulo de lenticulas se mide por pulgada y se expresa en valores LPI (lines per inch o líneas por pulgada).

“Para la elaboración de estas láminas de plástico se calienta el mismo hasta que se vuelva líquido, y mediante aire a presión se crea una especie de globo de plástico, que va siendo depositado sobre una superficie plana. Con el plástico todavía caliente y maleable, se pasa por encima un rodillo. Este rodillo, el encargado de formar las lenticulas, es una matriz metálica bastante costosa y perfectamente elaborada, en la cual están dibujadas las lenticulas con su angulación, su forma y demás detalles. Al presionar el rodillo sobre la placa caliente, y correrlo, se van formando los diferentes tipos de lenticulas. (Imagiam High Image Techs SL.)

Para imprimir imágenes en movimiento o 3D, se necesita tres componentes: Una impresora de alta resolución, plásticos lenticulares y un *software* específico para este tipo de impresión.

Existen algunas pautas que los profesionales suelen tener en cuenta para generar un efecto tridimensional. A continuación se muestran ejemplos de ello ordenados por pasos:

- Previamente hay que escoger adecuadamente los elementos de la composición dependiendo de lo que se quiera mostrar. Para los elementos de primer plano deben ser más saturados porque generan una ilusión óptica mayor y porque por su cualidad cromática tienden a acercarse al espectador, mientras que los colores oscuros o apagados son empleados para los fondos o elementos terceros.
- La toma de las fotografías debe realizarse con un trípode para mantener una misma perspectiva y evitar imágenes dobles, ya que estas podrían dar lugar una dificultosa visualización del movimiento. También hay que tener en cuenta los pasos de desplazamiento entre una imagen y otra, ya que si se realiza poco desplazamiento, la persona que lo visualiza no va a percibir el movimiento de la animación.
- Construir un fichero PSD compuesto de Capas. En el tratamiento de las fotografías, se necesita utilizar un programa como Photoshop para aislar los elementos de la imagen en capas, teniendo en cuenta que el fondo debe

representar una imagen del plano más alejado, sin que interfieran otros elementos que no corresponden a este.

- Una vez divididas las capas se pueden enviar para su entrelazado.
- El fichero PSD hay que cargarlo en un módulo o *software* para generar una animación 3D con la que simular N vistas de la escena desde diferentes ángulos de observación mediante desplazamientos laterales de las capas. El *software* lenticular permite realizar ciertos ajustes como el valor de profundidad de las capas, el número de imágenes, el nivel de desplazamiento y la definición del centro de referencia del desplazamiento,...
- Una vez finalizados los ajustes en el módulo, éstos se guardan y se envía el fichero a la impresora para entrelazar las N vistas, con lo cual nuestro fichero quedaría listo para ser impreso y posteriormente acoplarlo a un plástico.
- Para imprimir sobre material termoplástico es recomendable utilizar tecnología UV digital o impresión offset¹⁵⁴. Las máquinas offset son capaces de ajustar la imagen impresa con gran precisión, garantizando un buen resultado.

Existen dos procesos para elaborar una imagen lenticular; la primera de ellas consiste en imprimir primero la imagen entrelazada sobre papel o cualquier otro soporte estable y luego acoplarle el plástico mediante laminación en frío. Esta técnica se utiliza principalmente en gran formato. El soporte sobre el que se imprime ha de ser de muy alta calidad. Se requiere un papel estable, poco sensible a sufrir elongaciones, deformaciones o similares, y que fije muy bien las gotas de tinta para que dispersen lo mínimo posible en el nivel microscópico.

147. La resolución física de la impresora es un factor crítico cuando se imprimen imágenes lenticulares. Dicha resolución debe ser lo más alta posible y los ajustes de impresión deben estar activados necesariamente en el modo de máxima calidad.

La otra manera es imprimiendo directamente sobre el reverso del plástico, para lo que se precisa de tecnología UV en cualquiera de estas dos modalidades: mediante una *impresora UV de cama plana* o a través de una *impresora offset*. Las impresoras UV de cama plana (con tecnología LED), dado que se imprime directamente sobre el plástico, son más precisas que la técnica anterior basada en la laminación, pero el coste de los equipos es muy elevado. Además del aspecto económico, otro inconveniente que presentan estas impresoras es que están limitadas a 15, 20, 40 o 62 LPI. En cambio la tecnología offset está pensada para plásticos de 40, 75, 100, 150 LPI o mayores. En este caso los plásticos han de ser maleables para poder pasar por la impresora. A cambio, el offset ofrece una resolución inalcanzable mediante otras técnicas, y, gracias a eso, se puede imprimir lenticular sobre plásticos con una lenticula tan fina.

¿Cómo se combinan la imagen entrelazada y el plástico lenticular? El entrelazado de imágenes es una función central de todo *software* lenticular. Todos los efectos (flip, animación, 3D, etc) incluyen una fase de entrelazado lenticular anterior al proceso de impresión. Por tanto, el entrelazado es una función absolutamente imprescindible.

Se pueden entrelazar tantas imágenes como quieras para obtener efectos más complejos, al igual que para crear una animación o un morphing. Por ejemplo, si en lugar de entrelazar dos imágenes no relacionadas entre sí entrelazas 12 fotogramas seguidos de vídeo, entonces visualizarás una pequeña secuencia al mover la impresión. Pero esta consideración tiene un límite práctico que es el siguiente: todas las vistas generadas deberán ser entrelazadas en una única imagen lenticular cuya resolución mínima necesaria para ser impresa será directamente proporcional al número de vistas generadas. Por tanto, la resolución física del dispositivo de impresión y el tipo de plástico utilizado condicionan el número máximo de imágenes que se pueden generar para obtener la animación 3D. A modo de referencia habría que utilizar la siguiente fórmula:

$$\text{Nº imágenes} = \text{Resolución física de la impresora} / \text{LPI del plástico}$$

El proceso de entrelazado se realiza mediante un *software* que se encarga de formar la imagen final. Pero dicho *software* debe ser configurado según las características de cada imagen, dependiendo del efecto deseado.

“...el proceso de entrelazado consiste en montar una secuencia de imágenes de entrada en un único archivo entrelazado que estará listo para ser adherido al plástico o impreso sobre el mismo.” (Imagiam High Image Techs SL., 2014).

Antes de configurar el programa de entrelazado correctamente, se deben conocer algunos detalles importantes y calcular algunos datos de preimpresión para que el proceso se realice correctamente.

Uno de los parámetros más importantes es la lineatura de la lámina lenticular, es decir, el número de lentes por pulgada de un plástico lenticular. Se mide en LPI, del inglés lenses per inch (lentes por pulgada), por el fabricante, por ejemplo 70 LPI. Cuanto menor es la lineatura mayor es el tamaño de la lente, y, por tanto, el plástico es más grueso. También se puede decir que cuanto mayor es la lente mayor es el efecto 3D producido, pero esto tiene una contrapartida: cuanto mayor es la lente, menor es la resolución de la imagen en el eje perpendicular a las lentes. Esto se debe a que la máxima resolución percibida a través del plástico en ese eje es la de la lineatura.

Dicho esto, hay que tener en cuenta las siguientes diferencias entre lineaturas:

Lineatura nominal. Es el número de lentes por pulgada de un plástico lenticular que nos anuncia el fabricante. Por ejemplo: 15 LPI, 40 LPI, 75 LPI o 100 LPI.

Lineatura real. Es el número exacto de lentes por pulgada de un plástico lenticular. Debido a distintos márgenes de tolerancia implicados en los procesos de fabricación, la lineatura real de los plásticos lenticulares no coincide de manera exacta con el valor nominal anunciado por el fabricante. Por ejemplo, un plástico de 40 LPI (nominal) puede tener una lineatura real de 40.67 LPI. O un plástico de 75 LPI, una lineatura real de 74.81 LPI. Estos márgenes de tolerancia son normales en los procesos industriales.

Lineatura visual. Es el valor de lineatura que debemos usar para que las imágenes entrelazadas casen perfectamente con el plástico una vez impresas. La lineatura visual acostumbra a ser un valor diferente de las lineaturas anteriores.

La lineatura real es la medida que tiene la lentícula, pues los materiales, al ser elaborados en lotes, suelen tener diferencias mínimas en cuanto a tamaño, pero que influyen en los efectos finales, por lo que tendr que ser calculado en función de cada toma. Para ello se necesitará un patrón de prueba que puede ser bajado de Internet e impreso. En este patrón constarán unas líneas parecidas a las lentículas de la placa plástica, y junto a cada línea habrá una medida que generalmente tiene varios decimales.

Para calcular la lineatura visual se debe poner una lámina lenticular sin imprimir sobre el patrón de prueba, y cuando se mire desde la distancia de visión de la imagen final, una línea será totalmente negra o invisible; esta será la lineatura nominal.

La lineatura visual es la lineatura con la que debes entrelazar las imágenes de entrada para que la imagen entrelazada (que irá en el reverso del plástico) y las lentes del plástico (en el anverso) estén en perfecta sincronía para una distancia de observación dada. Esto es un parámetro que dependerá de la lineatura real del plástico, pero también de la distancia de observación y del grosor del plástico. Si se modificara alguno de estos factores se alteraría la forma de proyectar los haces de luz en el espacio y la lineatura visual resultante sería diferente. Por eso se dice que la lineatura visual es un parámetro que depende tanto del plástico como de la distancia de observación preferida de la imagen. (Imagiam, 2014)

Una vez que se obtiene la lineatura real y la lineatura visual, el siguiente valor que el *software* necesita es la calidad con la que va a emplear en la impresora. Se habla de DPI por sus siglas en inglés, que en español significarían la cantidad de puntos por pulgada. Las impresoras forman las imágenes a través de puntos, tan pequeños y con separaciones tan cortas que son imperceptibles para el ojo humano, con lo cual si observamos a cierta distancia la repetición de puntos, esta se ve como una sola forma.

Cómo calcular lineaturas.

Como se ha mencionado anteriormente, el plástico lenticular tiene un número de lentes por pulgada que debe casar a la perfección con el entrelazado de la imagen impresa, la clave para que estén perfectamente sincronizados la imagen entrelazada y el plástico lenticular durante el proceso de impresión. Hay que calcular un parámetro que dependerá de la lineatura real del plástico, pero también de la distancia de observación y del grosor del plástico (El plástico tiene un grosor que separa físicamente las lentes de la imagen entrelazada, por tanto el valor en ningún caso debe ser 0). Esto es muy importante, porque si se modificara alguno de estos factores se alteraría la forma en que interfieren los haces de luz en el plástico, y la lineatura visual resultante sería diferente.

Los haces de luz divergentes que interfieren en el plástico hacen que se proyecten las posiciones de las lentes del anverso sobre la imagen entrelazada, situada en el reverso, en una forma tal que las frecuencias de estas posiciones son ligeramente diferentes entre ellas.

Para calcular la lineatura visual hay que realizar una prueba llamada *calibración de lineatura*, cuyo valor se empleará para entrelazar las imágenes.

A continuación, es necesario conocer la lineatura real en el caso en que se requiera producir varias imágenes entrelazadas en un mismo plástico lenticular, ya que nos permitiría una correcta alineación. Existen varios métodos para calcular la lineatura real:

Método 1. Realizar una prueba de calibración para determinar la distancia de observación infinita: el resultado de esta prueba coincidirá con la lineatura real del plástico, para lo que los expertos recomiendan realizar una calibración desde una distancia aproximada a 6 metros; de esta manera se obtendrá una aproximación muy certera de la lineatura real.

Método 2. Hay módulos que poseen una función para calcular la lineatura real, que permite evitar la realización de una prueba de calibración. El cálculo interno realizado se utiliza directamente como base para la medida.

Es crucial ajustar el borde de registro para alinear las lentes del plástico con la imagen entrelazada. El borde de registro no es más que un patrón regular de líneas negras y blancas que debe encajar en el eje paralelo a la dirección de las lentes, las marcas de registro y las lentes del plástico.

Para alinear una imagen entrelazada en un plástico lenticular, la línea negra del borde de registro que se encuentra en el medio de la imagen entrelazada debe estar situada en el medio exacto de una lente física.

En algunos módulos se facilita esta tarea, pero la manera práctica de hacerlo sería llevando a cabo una serie de técnicas de observación:

El punto de observación de la imagen lenticular debe ser la misma distancia empleada en la prueba de calibración de ese mismo plástico.

La observación debe ser realizada desde el punto medio de la imagen según el eje perpendicular o transversal a la dirección de las lentes. El ángulo de observación debe ser de 90 grados.

Los rayos de luz que atraviesan el plástico lenticular se concentran en un punto de cada banda entrelazada. La lente, que actúa como una lupa, amplía el punto enfocado y colorea toda la lente con el tono de ese punto.

Si se observa que las lentes son negras, esto significa que las marcas del borde de registro están situadas correctamente. En cambio, si el borde de registro va cambiando de negro a blanco a intervalos regulares, es posible que la lineatura visual sea incorrecta y que se deba realizar otra prueba de calibración para calcular mejor el valor; también puede ocurrir que las marcas del borde de registro estén desalineadas si las lentes se presentan en color blanco.

La Calibración de la lineatura

El valor “exacto” de la lineatura es un proceso absolutamente crítico para el resultado final. Para averiguar este dato necesitamos una prueba de calibración, que nos indicará la lineatura exacta que se debe utilizar a la hora de entrelazar las imágenes que irán acopladas al plástico.

Para ello, es prioritario imprimir el fichero de calibración a fin de verlo a través del plástico, lo que dará el resultado de la lineatura visual exacta.

Un fichero de calibración está formado por un conjunto de bandas entrelazadas. Es imprescindible realizar varias pruebas para refinar la lineatura visual, utilizando un amplio rango de lineaturas alrededor de la lineatura nominal del plástico.

Foto: muestra la impresión del fichero de calibración vista a través del plástico lenticular

Las Indicaciones realizadas a continuación se han tomado de modo referencial de un *software* determinado, con la intención de mostrar los requisitos esenciales que se pueden encontrar en la elaboración de esta tarea.

Antes de crear el fichero de calibración se debe tomar la longitud de calibración; para ello se toma la longitud de su plástico lenticular en el eje perpendicular o transversal a las lentes.

Una vez realizado esto, en el fichero de calibración hay que introducir ciertos parámetros necesarios, como la longitud de calibración tomada anteriormente y el *grosor de una banda entrelazada*.

A continuación hay otros parámetros, como la separación entre las *bandas entrelazadas*, *el patrón de las bandas* o *la orientación de las lentes*, que se utilizan para la previsualización del fichero de salida. Además de indicar el rango de lineaturas alrededor de la lineatura nominal del plástico, este apartado es el que más detenimiento exige; no obstante es probable que en las diversas pruebas que se realicen sean modificados estos parámetros continuamente, ya que son cruciales para el resultado final.

Una vez finalizados estos pasos, en el *fichero de salida* se introduce la resolución de salida. Normalmente se emplean para ello valores de entre 8 a 10 veces la lineatura nominal del plástico; en el modo de salida ofrece opciones RGB, CMYK, o escala de grises.

Si en la previsualización se obtienen los resultados esperados, el siguiente paso es *imprimir el fichero de calibración*, el cual se puede proceder imprimiendo sobre papel si la técnica empleada se basa primero en papel para posteriormente laminar en frío las lentes, o bien en una impresión directa sobre las lentes si la técnica de impresión es en offset o tecnología digital UV.

“A lo largo de cada banda entrelazada se van alternando los colores blanco y negro con frecuencias que varían en función de la lineatura de la banda. Los patrones de interferencia tienden a converger en una banda que se ha de ver toda del mismo color. Dicha banda revela la lineatura visual del plástico, porque eso significa que plástico e impresión se acoplan a la perfección en esa zona”. (Imagiam High Image Techs SL., 2014)

El fichero de calibración y las lentes tienen que estar perfectamente alineados. Para averiguar si esta alineación es óptima realizaremos una comprobación a través de las técnicas de observación requeridas. Si en esta operación, por ejemplo, se observa una banda del mismo color, es posible que se determine una segunda calibración teniendo en cuenta dicha banda como punto de referencia. De esta manera se identifica el problema para realizar los ajustes convenientes.

Entrelazado lenticular

Hay que tener en cuenta que, dependiendo del módulo empleado, las interfaces variarán dependiendo del que se tenga disponible. Para la elaboración de esta información se ha tomado un modelo de referencia, con lo cual se desarrollarán aquellos términos que se consideren de relevancia.

Los requisitos que han de cumplir las imágenes de entrada para hacer un entrelazado lenticular son los siguientes:

El primer paso es cargar las imágenes en el sistema, las cuales formarán parte del efecto lenticular. Hay que asegurar que las imágenes que aparecen en el menú se encuentren en el orden de entrada deseado. Además, deben cumplir con ciertos requisitos:

- Las imágenes deben tener el mismo tamaño en píxeles y la misma resolución.
- El espacio de color de las imágenes que componen un efecto debe ser el mismo.
- Los espacios de color soportados son: Escala de grises, RGB y CMYK.
- Los formatos de fichero soportados son: TIFF, JPEG, y PSD.
- Los ficheros de imagen deben contener un perfil de color ICC en su interior. Esto es necesario para poder interpretar correctamente los colores en la pantalla.
- Para obtener resultados de alta calidad se utilizan imágenes de entrada cuya resolución sea media/alta. Por ejemplo: 300 dpi, 600 dpi, o más.

Una vez realizado esto, hay que dirigirse a la ventana Fichero entrelazado de salida y seleccionar la ruta y el nombre de su fichero entrelazado de salida. El formato que generará para el fichero de salida es una imagen TIFF, con el cual se imprimirá para obtener el efecto lenticular. En esta sección hay que introducir la lineatura visual en la casilla correspondiente; este valor se tiene que obtener a través del proceso de calibración que previamente se debe de hacer. A continuación hay que seleccionar la dirección que tendrán las lentes del plástico, que pueden ser horizontales o verticales dependiendo del efecto: por ejemplo, si es un efecto 3D las lentes deben

ser verticales, o si se trata de un efecto flip, zoom, morphing o animación es preferible usar lentes horizontales, debido a que producen saltos de imagen más nítidos. La resolución es un parámetro, lo que no debe olvidarse, ya que la tecnología lenticular es muy sensible a la resolución de las imágenes debido a que las bandas que forman el entrelazado son muy finas y tienen una densidad muy alta, en cuyo caso hay que tomar la siguiente consideración: introducir la resolución real con la cual el hardware suele imprimir en el equipo, y en caso de que la resolución del dispositivo generara una imagen de salida de una dimensión mayor, podría emplearse un submúltiplo de dicho valor.

Otro parámetro a seguir es Activar borde de registro, que ayuda a alinear correctamente las lentes del plástico con la imagen entrelazada.

Una vez realizados todos estos ajustes se acepta para generar el fichero de salida y, en el caso de que se hayan cumplimentado correctamente los requisitos previos, la impresora procesará el entrelazado; en el caso contrario, aparecerán avisos.

I.III Procedimiento experimental de hologramas de reflexión y de transmisión

Se pueden realizar dos tipos de hologramas: hologramas de reflexión y hologramas de transmisión, que se diferencian según la imagen registrada en el holograma se reconstruya por reflexión o por transmisión del haz de lectura sobre el holograma. El tipo de holograma requerido se obtiene cambiando la disposición experimental durante el registro holográfico. En los hologramas de reflexión el haz objeto y el de referencia inciden sobre caras distintas de la placa holográfica, mientras que en los hologramas de transmisión ambos haces inciden sobre la misma cara (la cara de la emulsión).

En la práctica hay que tener en cuenta que el haz del láser puede dañar la retina si entra en el ojo. Por ello debe evitarse mirar directamente al haz o a sus reflejos y colocar elementos ópticos en el camino de la luz para evitar que se produzcan reflejos directos. Nótese que el proceso de trabajo se realiza en la oscuridad, la pupila se dilata, y aumenta el riesgo de daño en la retina.

1. hologramas de reflexión de tipo Denisyuk

Elementos de la práctica

Láser de He-Ne (Helio-Neón) de 40 mW de potencia de salida y con longitud de onda 632.8 nm (rojo).

Obturador. Controla el tiempo de exposición.

Filtro espacial. Formado por un objetivo de microscopio más un orificio de pequeño tamaño (25 micras de diámetro). Expande el haz y la hace uniforme (el objetivo de microscopio concentra el haz y el orificio limpia el “ruido”). La sección del haz, los aumentos del objetivo y tamaño del orificio cumplen una relación óptima que ya se ha tenido en cuenta.

Medidor de potencia óptica. Con él se mide la irradiancia que recibirá la placa

Placa holográfica (BB-640). Debe colocarse con la emulsión por el lado del objeto y a unos 25°– 30° con respecto al haz. Deberá estar perfectamente fijada.

Objeto. Al igual que la placa debe estar perfectamente fijado para evitar cualquier movimiento relativo placa-objeto. Debe reflejar bien la luz. Para obtener buenos resultados la reflexión debe ser difusa (no son convenientes objetos con brillo metálico ni con colores complementarios a los del haz láser empleado). La reflexión difusa se puede conseguir usando un objeto normal pero recubierto con óxido de magnesio. Conviene usar objetos que de frente ocupen unos 6×6 cm, que son las dimensiones de las placas utilizadas.

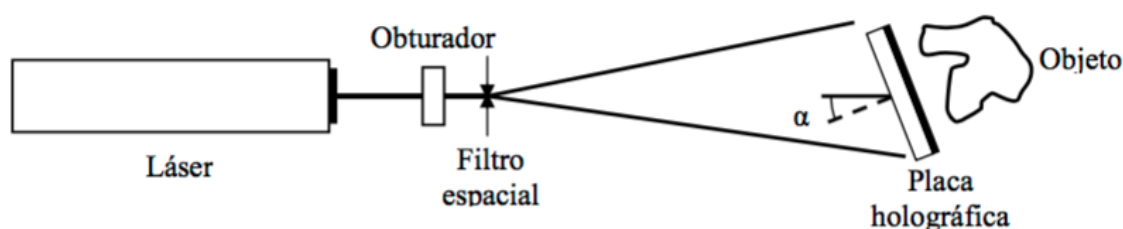


Fig. 100 Recorrido del haz para el registro de un holograma de transmisión.

2. Procedimiento experimental

Sobre la mesa óptica se colocarán los diferentes elementos que se usan en la práctica tal y como se muestra en la figura. La colocación del filtro espacial puede ser algo laboriosa, ya que se trata de alinear un objetivo de microscopio lateralmente, en altura y en ángulos y a continuación centrar el orificio de $25\ \mu\text{m}$ en x, y y z de modo que por él pase el haz muy enfocado que se ha conseguido con el objetivo de microscopio. Se utilizará el siguiente procedimiento:

1. Antes de colocar el filtro espacial se marcará sobre una pantalla el punto de incidencia del haz. Puede utilizarse un postit para ello.
2. Se retira el orificio (pin hole) del filtro espacial y se coloca el filtro procurando que el haz incida sobre el centro del objetivo de microscopio. A continuación se alinea el objetivo de modo que la mancha circular de luz que se observa tenga en el centro el punto marcado anteriormente en la pantalla. El centrado del objetivo es un proceso iterativo, y debe hacerse ajustándolo tanto lateralmente como en altura como en ángulos. Para centrar el objetivo en altura y lateralmente se observará el desplazamiento del haz sobre la pantalla, y para centrarlo angularmente se observará el haz reflejado en la parte trasera del objetivo, que debe volver hacia el láser.
3. Por último se coloca el pin hole y mediante los tornillos micrométricos se desplaza el mismo siguiendo siempre la dirección que presente un incremento de la intensidad luminosa sobre la pantalla. Por ejemplo, primero se ajustará el eje x hasta conseguir una mancha vertical con la máxima concentración posible de luz, luego se ajustará el eje y hasta llegar a una mancha horizontal y así sucesivamente hasta conseguir una mancha circular, posiblemente con anillos, centrada en el punto que marcamos en la pantalla. Una vez centrado el orificio según los ejes x e y se ajustará el eje z hasta conseguir que desaparezcan los anillos de difracción. En ese momento el haz estará filtrado.

4. Una vez filtrado y expandido el haz se colocará el portaplacas a una distancia del filtro tal que cuando se coloque la placa en él ésta quede uniformemente iluminada. Se deberá comprobar que a la placa no llega luz parásita (luz no deseada que no procede directamente del filtro espacial). De existir este tipo de luz es aconsejable apantallarla. A continuación se calculará el tiempo de exposición que se utilizará.

Tiempo de exposición

Las condiciones óptimas para la realización de este tipo de hologramas con la placa y el revelado elegidos se dan cuando la placa holográfica recibe una exposición de **1000-1500 $\mu\text{J}/\text{cm}^2$**

Esa condición fija el tiempo de exposición t , ya que

$$t = \frac{\text{energía que debe recibir la placa } (\mu\text{J}/\text{cm}^2)}{\text{irradiancia sobre la placa } (\mu\text{W}/\text{cm}^2)}$$

El tiempo t calculado de este modo será el que se seleccione en el obturador. Si se obtiene un tiempo de exposición excesivamente alto (> 1 min) conviene tratar la superficie del objeto con óxido de magnesio para aumentar su reflectancia.

Para medir la irradiancia directa del haz se sitúa el medidor de potencia en la zona donde se colocará la placa y con el mismo ángulo que ésta. La luz reflejada por el objeto es muy poca, por lo que puede despreciarse a la hora de calcular el tiempo de exposición.

Una vez obtenido el tiempo de exposición se coloca la placa en su sitio, se dispara el obturador y se procede al revelado de la placa siguiendo el procedimiento descrito en la sección 5, Laboratorio de revelado. Estas operaciones deben realizarse en completa oscuridad o con una luz verde tenue.

Manejo de la placa holográfica

Las placas holográficas empleadas son sensibles a la luz son ortocromáticas con máxima sensibilidad en el rojo, por lo que deben manejarse en completa oscuridad o con una luz verde tenue. Una vez extraída la placa de su caja, ésta debe cerrarse herméticamente.

Observación del holograma

El holograma puede ser observado a los pocos minutos de haber procedido al secado del mismo, si bien el secado completo tarda varias horas. Se puede utilizar una fuente de luz blanca (lámpara halógena, por ejemplo) o la luz solar. Cuanto puntual sea la fuente (más próxima en tamaño a un punto) mejores condiciones tendremos para la observación. Una fuente colimada, es decir con fuente en el infinito, también valdría. Se puede observar como varía el punto de vista e incluso el tamaño del objeto reconstruido según se modifica la geometría placa-fuente-observador. Por ejemplo, se puede ir girando el holograma para ver como se pasa de observar la imagen virtual (ortoscópica: con la perspectiva correcta) a la imagen real (psudoscópica: con la perspectiva invertida), que se obtiene girando la placa 180° . También es interesante observar el holograma con una fuente pequeña como un LED o una bombillita para ver como cambia el tamaño del objeto según alejamos o acercamos la fuente de luz.

2. Cómo hacer un holograma de transmisión

La luz proveniente de un láser de He-Ne que pasa a través de un obturador se divide en dos haces perpendiculares entre sí mediante un divisor de haz. En ambos caminos se sitúan sendos espejos con la finalidad de dirigir los dos haces para que interfieran sobre la placa holográfica. El haz de referencia es expandido mediante un filtro espacial iluminando toda la superficie de la placa holográfica. El haz objeto se expande de la misma manera e incide sobre el objeto, de modo que la luz reflejada llega a la placa. De este modo en la placa holográfica se registra la interferencia de ambos haces.

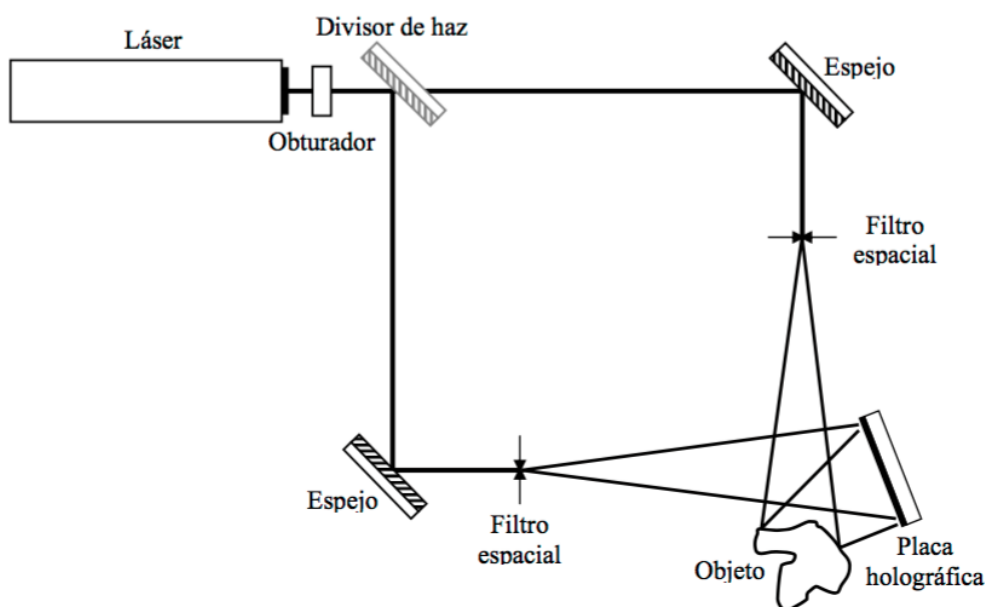


Fig. 101 Recorrido del haz para el registro de un holograma de reflexión.

Procedimiento experimental

En todos los pasos que se indican a continuación hay que disponer los elementos ópticos en las posiciones y distancias indicadas en la figura.

1. Se sitúa el obturador a la salida del láser de He-Ne. Tras éste se coloca adecuadamente el separador de haz de modo que los dos haces que se obtienen sean

aproximadamente perpendiculares entre sí.

2. Se colocan dos espejos como se indica en la figura 2.1, dirigiendo el haz de referencia hacia la placa holográfica y el haz objeto hacia el objeto. Debe ponerse especial cuidado en que el objeto no se interponga en la propagación del haz de referencia.
3. Con el fin de expandir los haces se sitúan los filtros espaciales en los dos brazos del Mach-Zehnder, a continuación de los espejos. Los filtros espaciales se alinearán siguiendo el procedimiento descrito en el apartado 1.4.
4. El objeto y la placa se orientarán procurando que la reflexión obtenida al iluminar el objeto con el haz expandido incida sobre la placa holográfica. El haz de referencia se orientará de modo que incida directamente sobre la placa holográfica.

Registro del holograma

Una vez montado el sistema se medirá la potencia del haz objeto sobre la placa holográfica en cinco posiciones distintas utilizando el detector óptico. Se realiza la media aritmética de estos registros y la llamamos potencia del haz objeto (PHO). Se repite esta operación para el haz de referencia y la media aritmética de las medidas de la potencia la llamamos potencia del haz de referencia (PHR). Para un buen registro holográfico se debe cumplir que $\frac{PHR}{PHO} \geq 3$

El tiempo de exposición del holograma se calcula haciendo la siguiente operación:

$$t = \frac{1000 \mu J/cm^2}{PHR + PHO}$$

en donde las potencias PHR y PHO se miden en W/cm y el tiempo en segundos. Se

ajustará el tiempo de apertura del obturador al valor obtenido.

En esta situación estamos en condiciones de realizar el holograma. Para ello se apagará la luz del laboratorio, se colocará la placa holográfica en su posición (ver figura) con la emulsión enfrentando al objeto y se activará el obturador.

El revelado de la placa se hará utilizando el procedimiento y los productos químicos especificados en el apartado Laboratorio de revelado.

Laboratorio de revelado

En el laboratorio vamos a usar placas holográficas BB-640. Se trata de placas fotográficas pero con unas características que las hacen especialmente adecuadas para grabar hologramas. En primer lugar su emulsión fotográfica (la película sensible que está depositada sobre el vidrio) tiene una resolución muy elevada comparada con la de películas más usuales. Y en segundo lugar están especialmente diseñadas para trabajar con la luz roja de 632.8 nm de los láseres de He-Ne, de modo que alcanzan su máxima sensibilidad y resolución en torno a esa longitud de onda. En cualquier caso, al tratarse de material fotográfico, se necesita un proceso de revelado para poder obtener finalmente un holograma. En nuestro caso el revelado de las placas va a hacerse en cuatro fases: comenzaremos sumergiendo las placas en un revelador, luego las lavaremos, pasaremos a un proceso de blanqueo y finalmente haremos un último lavado de las placas, para luego secarlas. Con respecto al procesado clásico de películas en blanco y negro, que sería un procedimiento bastante análogo, vemos que hay dos diferencias: en primer lugar eliminamos el baño de paro, y en segundo lugar, y esto sí que es importante, sustituimos el proceso de fijado por uno de blanqueo. Este último cambio aumenta mucho la eficiencia de los hologramas. En un proceso usual final de fijado las zonas que han recibido luz en la exposición quedan opacas, y las zonas no expuestas quedan transparentes, lo cual es adecuado para la fotografía en blanco y negro. Sin embargo en un holograma lo que queremos es grabar (almacenar) las interferencias entre dos haces de luz, que dan lugar a una

estructura dentro de la emulsión fotográfica. Si en vez de grabar esa estructura como zonas opacas–zonas transparentes lo hacemos como zonas de alto índice de refracción–zonas de bajo índice de refracción habremos conseguido grabar la estructura pero además ésta será trasparente. La luz será redirigida pero no absorbida. Esto es lo que se consigue con el procedimiento de blanqueo.

El revelado, como la exposición, debe realizarse a oscuras, o en todo caso usando lo que se denomina “luz de seguridad”. Esto es posible porque como se ha indicado antes las placas que usamos son solo sensibles en un rango limitado de longitudes de onda (lo mismo ocurre, por ejemplo, con algunos papeles para revelado en blanco y negro. Se habla de películas ortocromáticas). En nuestro caso la emulsión es sensible en la zona del rojo, por lo que podemos utilizar luz con longitudes de onda en el verde. Además por seguridad el revelado debe hacerse con guantes y evitando tocar los líquidos de revelado.

En el revelado la placa pasará por diversos baños, siempre con la emulsión hacia arriba y agitando, para que los líquidos actúen de modo uniforme. El procedimiento será el siguiente (a 20° C):

1. Revelador D-19 de Kodak (viene en polvo y se mezcla con agua destilada para disolverlo) (5 minutos)
2. Lavado con agua desionizada (30 segundos)
3. Blanqueado con la solución A+B (basada en bromuro potásico, dicromato potásico y ácido sulfúrico) (5 minutos)
4. Lavado en agua (5 minutos)
5. Foto-flo (humectante) (1 minuto) Normalmente las placas no tienen humectantes, por este motivo, hay que sumergirlas en esta solución para presensibilizarlas. Este efecto de presensibilización puede durar unos días.
6. Secado: con secador, sin aplicar calor excesivo

De los tiempos indicados el único que es realmente estricto es el de revelado. El blanqueado depende del estado de los líquidos y de la exposición de la emulsión,

y se deberá continuar hasta que la placa quede totalmente transparente. El lavado final con foto-flo hará que el secado sea más uniforme y rápido, sin manchas de gotas de agua.

I.IV Como hacer una proyección “holográfica” casera

Material necesario: Smartphone o Tablet, pirámides elaboradas con lámina transparente de plástico, videos e imágenes para generar la imagen en la pirámide.
(imagen explicativa)

La pirámide se coloca sobre o debajo de la pantalla de un Smartphone o tablet cuya proyección está dividida en cuatro partes, cada una de las cuales es reflejada sobre cada una de las caras de la pirámide, creándose un pseudo-holograma en el centro. La imagen generada no es realmente una holografía, es una imagen virtual producida por el fenómeno de la reflexión de la luz. Para generar el efecto 3D la pirámide debe ser de un material reflectante y sus caras deben formar un ángulo de 45° con la pantalla del proyector.

I.V En qué consiste una instalación de *video mapping*

A continuación se ha realizado una breve explicación sobre el proceso de producción de un vídeo mapping para tener una idea preconcebida.

Normalmente se emplea una cámara y un proyector: la cámara captura la luz a través de una lente y la transforma en imagen digital y el proyector transforma una imagen digital en luz proyectada a través de una lente. La posición del proyector respecto al elemento que se mapeará es muy importante.

Además, la lente de la cámara y del proyector deberán ser lo más similar posible para evitar deformaciones en la fase de proyección.

Primero, para crear la plantilla que corresponderá a la superficie, que manchará o bañará el haz de luz, podemos utilizar diferentes métodos. El más recomendable es con un escáner 2D o 3D para que sea lo más fiel a la realidad. De esta manera el *software* crea una imagen exacta de la plantilla que necesitamos.

También es posible realizar el mapeo directamente con un proyector conectado al equipo y un *software* que permita crear áreas y máscaras a las que aplicamos colores, texturas, imágenes etc. y que podemos animar proyectándolas directamente.

Después de tener la plantilla, se realiza el *matching* o encaje de la imagen virtual con la superficie del mundo real. Para ello, se deben tener en cuenta algunos cálculos para cerciorarse si el proyector está colocado lo más perpendicular posible, así se evitarán distorsiones de la imagen.

Hay varios métodos para emplear los proyectores, uno de ellas es cuando las manchas de luz se solapan y en la franja de unión los vídeos se difuminan, manera en la que no se nota la línea divisoria. A este proceso en el que imágenes de fuentes diferentes se mezclan creando una sola, se le llama *blending*.

También se pueden usar varios proyectores a la vez, pero no para cubrir una superficie mayor, sino para tener una imagen más clara y precisa. En vez de usar un proyector de mayor potencia, se solapan las imágenes de diferentes proyectores con una sola señal de vídeo; a esto se denomina *stacking* o apilamiento.

Una vez el proyector o proyectores están bien colocados, se proyecta el vídeo. Para ello se necesita un media server, que lance, almacene y controle el proceso de realización de la proyección. A nivel de producciones de gran magnitud existen sistemas con *software* y *hardware* de alta gama como Watchout, Vista Spyder, Green Hypo, o Coolux Pandora's Box, aunque los *software* como Resolume Arena o Milumin también pueden funcionar como media servers.

Para la creación de un vídeo mapping hay programas específicos que facilitan la edición de vídeo en directo como COGE, VJAMM, VDMX, ArKaos entre otros. Además de *software* de funcionamiento común, existen diversos lenguajes, entornos y programas de programación que se usan en obras de vídeo mapping. Permiten trabajar vídeo y gráficos de forma visual y creativa, con muchas opciones y control, pudiendo personalizar muchas funciones mucho más de lo que se podría con *software* común.

Los más populares son:

OpenFrameworks. Es una herramienta de creación gráfica mediante programación creativa de código abierto basado en C++. El lenguaje de programación C++ orientado a objetos fue desarrollado por Bjarne Stroustrup en los Laboratorios Bell a partir de 1979 y se aplica en sistemas de diseño de *software* y controladores. La herramienta de código abierto OpenFrameworks salió al mercado en 2005 creada por Zachary Lieberman y Theo Watson. Ofrece un marco simple e intuitivo para la experimentación y permite el uso e integración con diferentes librerías para dibujo de uso común (OpenGL, rtAudio, Freetype, FreeImage etc.). Dado que es una herramienta abierta, permite mucha flexibilidad a la hora de trabajar y la comunidad de artistas y desarrolladores intercambian y comparten conocimientos. La herramienta LPMT

basada en OpenFrameworks permite crear proyectos de mapping con funciones creación de quads, de warping y manipulación de recursos gráficos entre otros.

Processing. Es un lenguaje de programación y entorno de desarrollo de *software* libre. Lo creó el MIT Media Lab (Massachusetts Institut of Technology) en 2001 como medio para enseñar los fundamentos de la programación en un contexto visual. Hoy en día es una herramienta que une tecnología y arte visual utilizado por investigadores, diseñadores y artistas. Funciona en base a lenguaje Java, pero su sintaxis es más simple y visual.

WWW. Es un entorno de programación grafica para desarrollo y prototipado rápido diseñado para facilitar el manejo de ambientes multimedia a gran escala con interfaces físicas, diseño gráfico a tiempo real, audio y video con el que se puede interactuar simultáneamente con multitud de usuarios. Dado que renderiza a tiempo real en 2D y 3D, ofrece muchas posibilidades para el mapping. Además integra patches, unidades de programación que se añaden al sistema para facilitar procesos de mapping como es calibrado de cámara y el escaneo de la superficie como con el patch reconstruct me. Este patch Fue desarrollado en 1998 originalmente por Sebastian Oschatz y Max Wolf como herramienta de trabajo interna del colectivo de diseño digital MESO hasta que lo hicieron público en 2002.

QUARTZ COMPOSER (QC). Es un lenguaje de programación visual basado en nodos para el sistema MacOs que permite renderizar información gráfica de forma interactiva. Trabaja con un sistema de composiciones y patches que forman un entramado modular con conexiones y funciones para procesar y renderizar gráficos. Muchos artistas visuales, incluyendo los que trabajan con mapping, utilizan QC en sus trabajos, formando una extensa comunidad que comparte patches y composiciones a través de la red.

Anexos

Investigación personal de las técnicas

II. Investigación personal en el medio técnico:

II.I Proceso de fabricación digital en el Medialab-Prado: Conociendo las Impresoras 3D

El MediaLab Prado es un espacio abierto al público en general.

Todas las actividades que se realizan en el centro se conciben como espacios de trabajo colaborativo, intercambio de saberes entre investigadores y agentes socio-culturales, que permiten un enriquecimiento en cuanto a la formación en relación a la cultura digital. Dentro del programa del MediaLab Prado se encuentra el grupo de trabajo FabLab, que realiza ciclos de talleres introductorios al funcionamiento y manejo de herramientas.

Este taller introductorio está creado para adquirir nociones sobre el funcionamiento de las impresoras 3D de tipo FFF (fabricación por fundición de filamento). Caracterizadas por su sistema aditivo, son máquinas capaces de materializar de manera rápida, sencilla y barata un diseño o modelado 3D.

La clase se dividió en tres partes: Primero fue la introducción al prototipado rápido. Segundo cómo obtener un modelo 3D y cómo modificar sus parámetros de fabricación. Y por último, la demostración de la impresión 3D.

Introducción al prototipado rápido:

Para esta tarea tomamos como referencia las conocidas *impresoras Makerbot*, empresa líder en el mercado doméstico. La compañía fue fundada en Nueva York por Bre Pettis, Adam Mayer y Zach Smith en Enero de 2009. Comenzó vendiendo sus piezas como Kits, con un hardware abierto. Mas tarde, llegó la petición de atraer nuevos propietarios para que la empresa pudiera financiar la fabricación de sus propias piezas. A finales de 2010 Makerbots se fusiona con el equipo 3DWorldwide. El grupo fue dirigido por Joshua J. Watts, Vishal Gupta y N. Collins T. Chelakottu. Statasys Incorporated adquirió Makerbot. Según el acuerdo, Makerbot debía operar

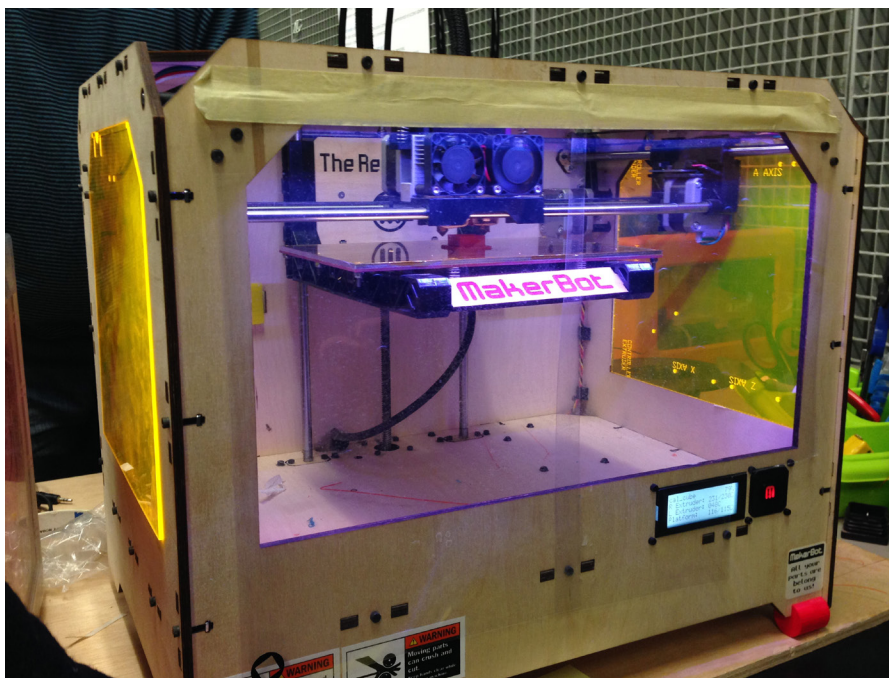


Fig. 102 Impresora *MakerBot* de primera generación.

como una marca distintiva y subsidiaria de Statasys, comercializando el producto en el mercado de consumo. El 20 de septiembre de 2012 Makerbot inauguró la primera tienda física de impresoras 3D. Después de este debut, presentaron la impresora *Cupcake CNC*: de primera generación. Tuvo numerosas mejoras debido a su naturaleza como proyecto de código abierto. Consta de una placa, fuente de alimentación, tres placas electrónicas.

En nuestro caso, la práctica la realizamos con una impresora *Makerbot Replicator* de tercera generación. Esta versión tiene una zona de impresión más grande y además facilita la posibilidad de realizar trabajos a dos colores gracias a la tecnología *Dualstrusion*, una extrusora de dos cabezales. Aunque no todos los materiales son compatibles, debido a sus propiedades, por tanto si la elección no es correcta los trabajos resultantes se despegan.

Presentación de los Materiales bioplásticos: *ABS* y *PLA*, son los más empleados. Otros como *woodfile*, policarbonato.

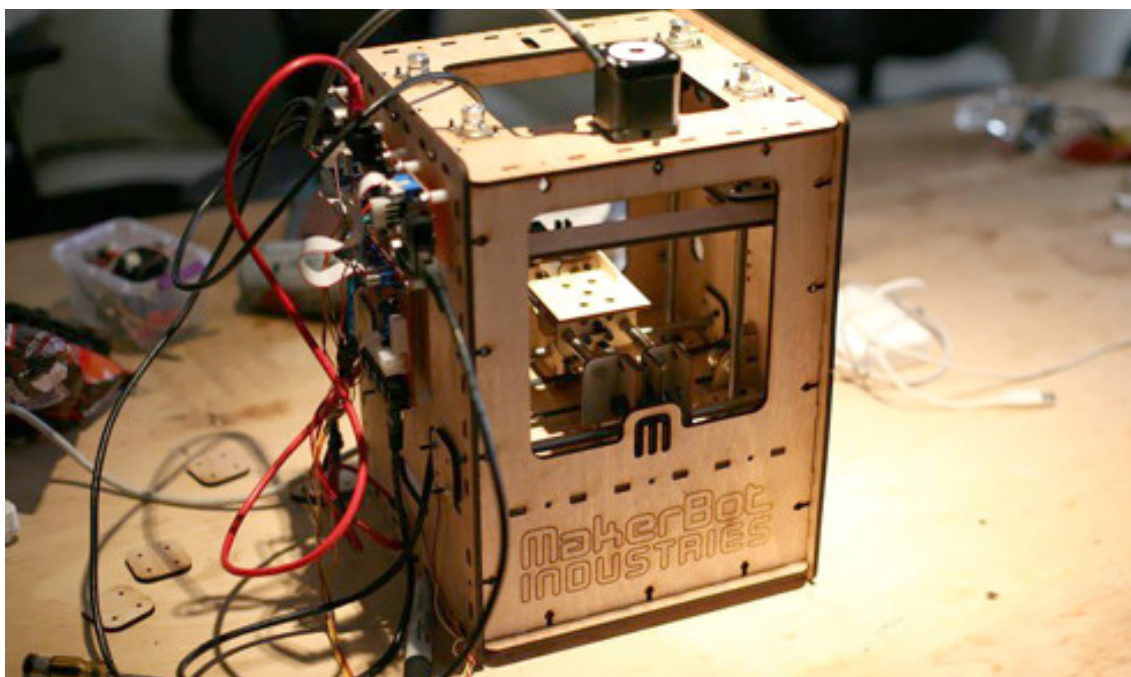


Fig. 103 Impresora MakerBot de primera generación.

B. Cómo obtener un modelo 3D:

Presentación de la comunidad *Thingiverse*, una plataforma creada por Zach Smith. La Web es un banco de modelos 3D, que están bajo licencias libres. Se pueden descargar y modificar sus parámetros según las condiciones elegidas por el autor. La aplicación Customizer permite realizar un Diseño paramétrico en cada modelo 3D, esto quiere decir que podemos cambiar sus cualidades modificando sus parámetros, lo que representa una manera fácil de automatizar el proceso de trabajo.

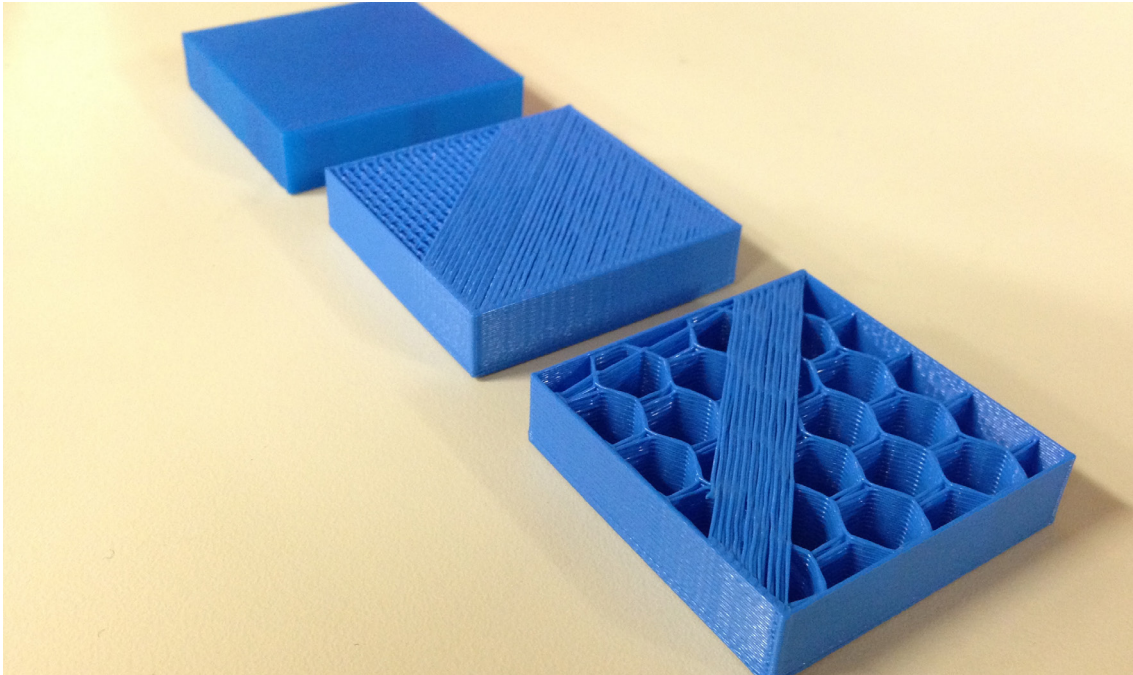


Fig. 104 Tipos de densidad interna.

C. Conceptos a tener en cuenta antes de imprimir un objeto 3D:

El **raft** es la base horizontal que permite aumentar la adherencia de la pieza. Una vez que se finaliza la impresión, podemos eliminarla tirando de ella.

El **soporte**, en inglés supports, son las columnas de material adicional que ayudan al modelo a soportarse.

El **infill** es la densidad interna de material de un modelo. Puede tener desde 5% hasta llegar al 100% para un objeto macizo.

Es importante controlar la **temperatura de extrusión** del filamento, porque depende de la temperatura ambiente, o bien por el tipo de material que podemos emplear.

The figure consists of three screenshots of the 'Advanced Options' dialog box in a 3D printer slicer, showing different tabs: Quality, Temperature, and Speed.

Top Screenshot (Quality Tab):

- I want to: ☐ Make It Now ☒ Export to a File
- Export For: The Replicator (Dual)
- Left: MakerBot ABS Right: MakerBot ABS
- Resolution: ☐ Low (Faster) ☒ Standard ☐ High (Slower)
- Raft: Right Extruder
- Supports: Right Extruder
- For help with our Advanced Dual Extrusion settings, click [here](#).
- Extruder: Right
- Profile: Standard
- Slicer: MakerBot Slicer
- Quality Temperature Speed
- Infill: 10%
- Number of Shells: 2
- Layer Height: 0.20 mm
- Use Defaults Create Profile...
- ☐ Preview before printing
- Cancel Export!

Middle Screenshot (Temperature Tab):

- Extruder: Right
- Profile: Standard
- Slicer: MakerBot Slicer
- Quality Temperature Speed
- Left Extruder: 230 °C
- Right Extruder: 230 °C
- ☒ Heat the Build Plate
- Build Plate: 115 °C
- Use Defaults Create Profile...
- ☐ Preview before printing
- Cancel Export!

Bottom Screenshot (Speed Tab):

- Extruder: Right
- Profile: Standard
- Slicer: MakerBot Slicer
- Quality Temperature Speed
- Speed while Extruding: 90 mm/s
- Speed while Traveling: 150 mm/s
- Use Defaults Create Profile...
- ☐ Preview before printing
- Cancel Export!

Fig. 105 Parámetros de fabricación.

D. Cómo modificar los parámetros de fabricación:

Utilizamos el *escritorio Makerbot* o *Makerware* (versión anterior). El escritorio Makerbot es un entorno que puede emplearse en cualquier impresora 3D de Makerbot Industries excepto para la impresora Cupcake. Es una interfaz muy intuitiva, sus funcionalidades son muy similares al programa Makerware. El entorno propone cuatro pestañas: Explore, Library, Prepare, y Store.

Exploramos en la pestaña Prepare. En este menú podemos transformar nuestro modelo con la extensión *.stl*, debiendo enviarlo posteriormente a la impresora.

El primer paso del proceso que nos ocupa consistirá en poner nuestro modelo en la plataforma de la impresora. Para ello, seleccionamos un modelo predeterminado en la opción Examples.

En la pestaña *Devices* hay que comprobar si el modelo de la impresora seleccionada es el correcto.

Luego, en la pestaña *Settings*, tenemos que ajustar los principales parámetros para la impresión: tipo de plástico, elección de raft y/o soporte, resolución, infill y temperatura de extrusión.

Una vez ajustados los parámetros deseados, pulsamos el botón Save. Entramos en Print y se lanzará el slicing del modelo.

Si queremos ver una estimación del tiempo de impresión y del material gastado, podemos acceder en *Preview before printing*.

Si consideramos que está todo correcto y queremos ya enviarlo a la impresora, hacemos clic en *Export!*. Obtenemos de esta manera un fichero *.x3g* del que se tiene que cargar en la impresora.

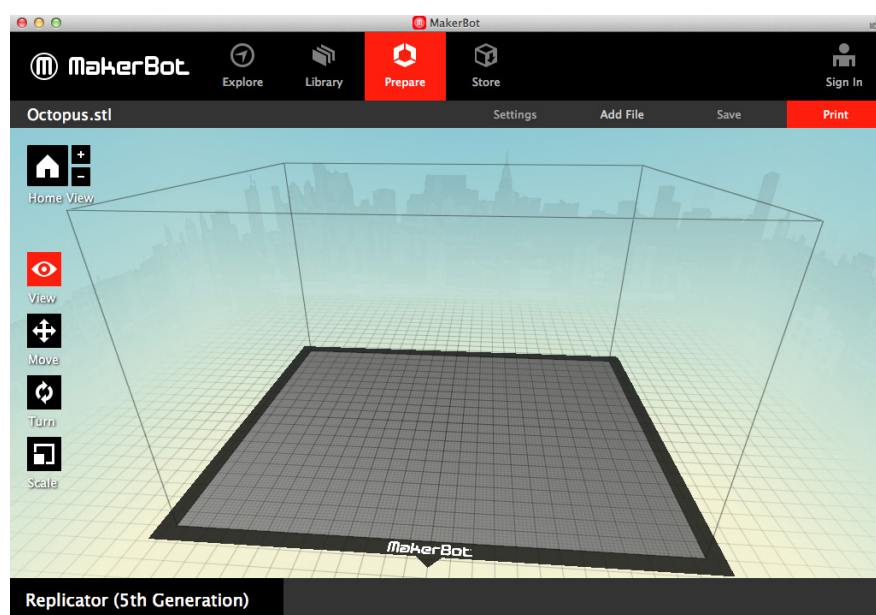
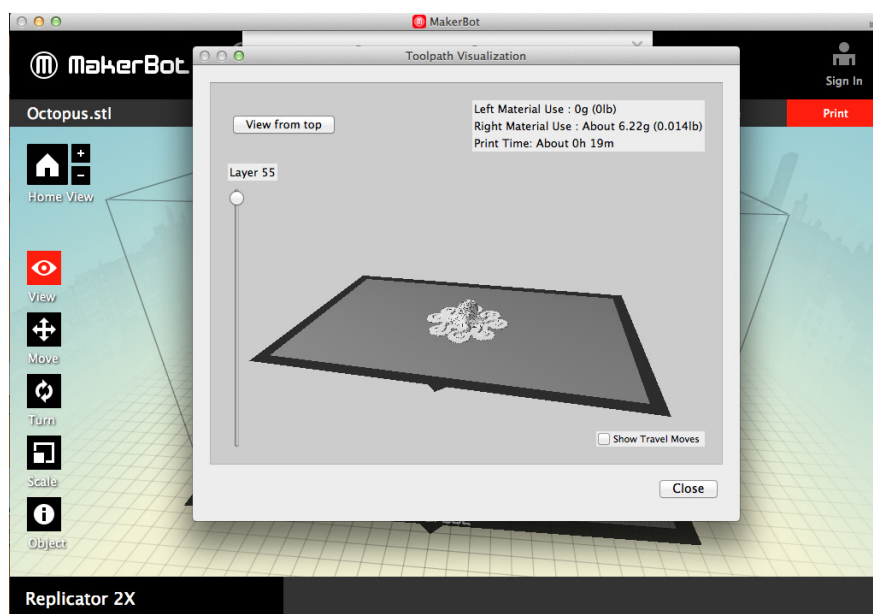


Fig. 106 Interfaz de MakerBot.

II.II Los Hacedores: Taller de Introducción al prototipado rápido utilizando impresión 3D

A sumar a esta investigación se ha realizado una actividad con la escuela Los Hacedores, dedicada a la divulgación y enseñanza de la fabricación digital a través de la tecnología, para llevar a cabo un primer contacto con la creación de un modelo tridimensional y su posterior impresión física empleando una *impresora 3D de tecnología FDM (fused deposition modeling)*.

En el comienzo del taller creamos un modelo desde cero basándonos en la observación de un objeto sencillo, común y que cuenta con un mínimo de movimiento mecánico. Para ello empleamos un calibre para tomar medidas y acotaciones.

El objeto elegido para el programa de este taller es una pinza de ropa.

Posteriormente, partiendo de las acotaciones tomadas, transferimos estas medidas al *software Modo 701 de Luxology*, un programa de creación de contenidos en 3D. Este programa incorpora un modelado poligonal, así como escultura, pintura, animación y render.

Es una herramienta muy flexible y de grato manejo, y es muy apropiada para cualquier tipo de usuario. Su interfaz es muy intuitiva.

Antes de comenzar a modelar aprendimos a movernos en un entorno 3D, así como el uso de las herramientas fundamentales de modelado.

La técnica que vamos a emplear es el *Modelado de subdivisión (SubD)*, que requiere más tiempo pero es más preciso. Para empezar, realizamos una sintaxis básica del modelado poligonal para entender su proceso.

Utilizamos herramientas de creación de geometría: corte, bisel, extrusión y espejo.

Empezamos creando un n-gon de gran tamaño, sabiendo que podíamos beneficiarnos de los SubD, utilizamos pocos puntos para definir sus partes curvadas.

Al añadir un biselado con un pequeño relieve creamos un bucle de bordes de quads

que rodeada la silueta de la pieza. Eliminamos el n-gon y aplicamos SubD a la malla para evaluar los resultados.

Luego, añadimos más segmentos a lo largo del bucle para mantener la forma de la pieza y poder parchear el centro utilizando polígonos de cuatro puntos.

Una vez que estuviéramos satisfechos con la silueta resultante, aplicamos la extrusión para darle profundidad.

Con esto, se obtuvo bordes suaves, por lo que añadimos más segmentos de refuerzo para endurecer los bordes. Una vez que la pieza estuviera completada, duplicamos para obtener la otra parte de la pinza. Seleccionamos la pieza clonada, la rotamos y la colocamos en su lugar.

Hay que añadir, que los procesos de modelado son muy variados, se podría conseguir un mismo resultado, empleando diferentes técnicas de construcción, aunque su diseño y modelado está muy condicionado a la funcionalidad del objeto.

Una vez modelada la estructura base de la pinza procedimos a personalizarla sustituyendo su dentado habitual por una forma nueva, teniendo en cuenta que la función básica de la pinza no se vea impedida. De esta manera conseguimos transformar un objeto común en un objeto creativo y funcional.

En esta práctica eligió el silueteado de una mariposa diseñada previamente con un programa vectorial, y se importó el contorno Modo.

El contorno obtenido puede ser convertido en un polígono. El siguiente paso a realizar es la consecución de esta forma en el dentado de la pinza, para lo que se realizó una *operación booleanas* para restar este volumen al objeto.

Al finalizar el modelado, exploramos la geometría para exportarla y que sea interpretada correctamente por la impresora. Utilizamos una impresora FDM que tiene una pistola de cola caliente controlada por ordenador.

Una vez seguros de que los modelos creados eran viables, procedimos con la segunda parte del taller: Presentación y exploración del *software* Cura, y la impresión 3D de nuestra pieza.

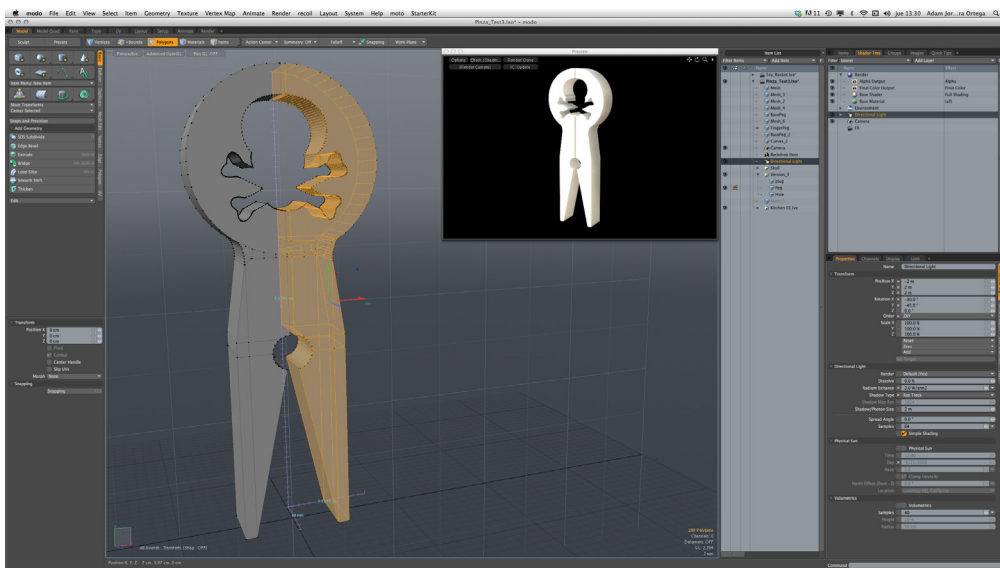


Fig. 107 Modelando con el software Modo.



Fig. 108 Proceso final de impresión.

Cura es un programa de laminado con multitud de opciones simples para generar archivos G-code, razón por la cual su interfaz es bastante intuitiva en su uso.

Si queremos utilizar este programa, obviamente necesitamos realizar previamente su instalación en el ordenador.

Como nota importante, cabe destacar que el programa ofrece una opción bastante interesante, llamada *layers*, que permite visualizar las capas del objeto.

En el lado izquierdo aparece un menú con varias opciones, donde podemos elegir configurar en *Basic* (Configuración básica): *Quality* (calidad), *Fill* (la adversidad del relleno), *Speed and Temperature* (velocidad y la temperatura), *Support* (soporte), *Filament* (Filamento) entre otros.

Quality (Calidad)

Layer height (Altura de capa): indica la altura de capa a la que se va a realizar la impresión. Este parámetro está ligado a la calidad de la pieza, a menor altura de capa mayor calidad, pero va a incrementar los tiempos de impresión.

Shell Thickness (Grosor del borde): Determina la anchura del borde del objeto. El valor de este parámetro va estar influido directamente por el diámetro de la boquilla del HotEnd multiplicado por el número de vueltas que queramos dar al objeto.

Por ejemplo si nuestra boquilla mide 4mm y queremos que dé dos vueltas al borde del objeto, debemos poner un valor de 0.8mm.

Enable retraction (Habilitar retracción): Hace que los desplazamientos del extrusor retraigan el plástico para que no se produzca goteo, de esta manera se evitan pequeños defectos en la impresión.

Basic

Advanced

Plugins

Start/End-GCode

Quality

Layer height (mm)0.2

Shell thickness (mm)0.8

Enable retraction☒

Fill

Bottom/Top thickness (mm)0.6

Fill Density (%)70

Speed and Temperature

Print speed (mm/s)28

Printing temperature (C)240

Bed temperature (C)90

Support

Support typeNone

Platform adhesion typeBrim

Filament

Diameter (mm)3

Flow (%)100.0

Fig. 109 Paso A. Parámetros *Quality* (calidad), *Fill* (relleno), *Speed*, (velocidad) *Support* (soporte) y *Filament* (filamento).

Fill (La adversidad del relleno)

Bottom/Top thickness (Grosor de la capa inferior y superior)

Podemos indicar el grosor que tendrán las capas superior e inferior. Estas capas no están afectadas por la configuración del relleno, por este motivo saldrán macizas.

Fill Density (Densidad de relleno)

Indica el relleno que va a tener la figura. Este parámetro repercute en el tiempo de impresión y en el coste de la pieza.

En muchas ocasiones debemos usar menos relleno para obtener más beneficio, aunque nuestra pieza podría mermar.

Speed and Temperature (velocidad y la temperatura)

Son parámetros ligados a las características y condiciones que presenta la impresora 3D, e interfieren en el resultado de la impresión. No es un parámetro que se deba subir, ya que podríamos dañar el HotEnd, y provocar atascos por exceso de calor.

Print speed (velocidad y temperatura)

Con este parámetro podemos fijar la velocidad de impresión. A mayor velocidad, menor calidad en la impresión. No todas las impresoras 3D pueden alcanzar las mismas velocidades con la misma resolución. A modo orientativo, podemos fijar la velocidad en 28mm/s (es una velocidad prudente) e ir subiendo la velocidad progresivamente para determinar una velocidad optima.

Printing Temperature (temperatura de impresión)

Fija la temperatura de HotEnd a la que se va a imprimir. Dependiendo del tipo de plástico utilizado, vamos a usar una temperatura u otra. Como ya hemos mencionado en numerosas ocasiones, los plásticos más comunes son el ABS y el PLA; para ABS normalmente se fija una temperatura de 220-240° y para el PLA de 190-210°

Bed Temperature (temperatura de la cama caliente)

Fija la temperatura de la cama caliente. La temperatura de la cama caliente cambiará en función del plástico que usemos. En el caso del PLA no es necesario calentar la cama, aunque se adquiere mejor si se temple a unos 30° y para el ABS se puede fijar la cama desde unos 80° a 110° (aunque dentro de este tipo de plástico hay una gran familia y dependiendo del ABS que usemos, debemos contemplar una temperatura adecuada)

Support (soporte)

Durante el proceso debemos contar con elementos que aseguren una correcta impresión. Estos pueden ser elementos de soporte o mejora de la adherencia.

Support type (tipo de soporte)

Esta opción hace crear soportes donde sea necesario. Los soportes se emplean cuando la pieza tiene partes salientes que no pueden sustentarse. Estos salientes deben tener un ángulo de 45° o superior a este.

Platform adhesión type (plataforma de adhesión): Podemos crear plataformas en la base para mejorar la adhesión de la pieza. Existen dos tipos de bases: “Brim” crea una visera en todos los bordes de la figura y la segunda “Raft” la figura no va a apoyar su base sobre el cristal de impresión, por lo que esta superficie no va a quedar con un buen acabado.

Filament (Filamento)

Diameter (Diámetro de filamento): Como su nombre indica, determina el diámetro del filamento. Los más comunes son 3mm y 1.75mm

Flow (Multiplicador del flujo de filamento): Suele usarse para corregir la cantidad de plástico extruido por la impresora.

En la pestaña *Advanced* (Configuración Avanzada) podemos encontrar: *Machine* (Maquina), *Retraction* (Retracción), *Quality* (Calidad), *Speed* (Velocidad), y *Cool*. (img)

Machine (Máquina)

Nozzle size (Diámetro de la boquilla del Hotend): En este parámetro se especifica el diámetro de la boquilla del HotEnd que estemos usando. Los diámetros más comunes son 0.5mm 0.4mm y 0.35mm.

Retraction (Retracción)

Speed (Velocidad)

Es la velocidad a la que se realiza la retracción. Este parámetro tiene un amplio margen de trabajo, por defecto tiene 40 mm/s, que es una velocidad optima. Se puede emplear una velocidad mas elevada pero esto puede mellar el filamento y estropear la impresión.

Distance (Distancia)

Indica la cantidad de filamento que va a retraer. Por defecto trae 4.5mm, un parámetro óptimo.

Quality (Calidad)

Initial layer thickness (Grosor de la capa inicial)

Fija el grosor de la capa inicial. Si queremos hacer que la capa inicial tenga el mismo valor que el resto de capas, se le asigna el valor de 0. No se recomienda que la capa inicial tenga demasiado altura, ya que esto puede repercutir en la adherencia.

Initial layer line with (Ancho de línea inicial)

Establece el ancho de línea en la primera capa. Este parámetro va a efectuar directamente al “flow” de la primera capa, mejorando la adherencia de la figura al

Basic	Advanced	Plugins	Start/End-GCode
Machine			
Nozzle size (mm)	<input type="text" value="0.4"/>		
Retraction			
Speed (mm/s)	<input type="text" value="40.0"/>		
Distance (mm)	<input type="text" value="4.5"/>		
Quality			
Initial layer thickness (mm)	<input type="text" value="0.2"/>		
Initial layer line with (%)	<input type="text" value="100"/>		
Cut off object bottom (mm)	<input type="text" value="0.0"/>		
Dual extrusion overlap (mm)	<input type="text" value="0.15"/>		
Speed			
Travel speed (mm/s)	<input type="text" value="130"/>		
Bottom layer speed (mm/s)	<input type="text" value="20"/>		
Infill speed (mm/s)	<input type="text" value="35"/>		
Outer shell speed (mm/s)	<input type="text" value="25"/>		
Inner shell speed (mm/s)	<input type="text" value="25"/>		
Cool			
Minimal layer time (sec)	<input type="text" value="10"/>		
Enable cooling fan	<input checked="" type="checkbox"/>		

Fig. 110 Paso B. Parámetros *Machine* (máquina), *Retraction* (retracción), *Quality* (calidad), *Speed* (velocidad), *Cool* (temperatura).

depositar mayor cantidad de plástico sobre la primera capa.

Cut off object botton (Corta la base del objeto)

Con este parámetro podemos cortar la figura a la altura deseada.

Speed (Velocidad)

Travel speed (Velocidad de desplazamiento)

Fija la velocidad a la que se va a mover el extrusor cuando se desliza de un punto a otro de la máquina. Está configurado por defecto a 150mm/s

Bottom layer speed (velocidad de la primera capa)

Establece la velocidad de impresión de la primera capa. Es importante realizar la primera capa a baja velocidad para una buena adherencia. Se debe fijar un valor inferior a la velocidad de impresión normal; un valor con el que se obtiene buen resultado es con las impresoras de 22mm/s.

Infill speed (velocidad de relleno)

Fija la velocidad a la que se va a realizar el relleno de la figura. Puede aumentar la velocidad sin que afecte a la calidad de la pieza, reduciendo el tiempo de impresión. El valor de referencia es de 40mm/s y posteriormente se va aumentando para determinar una velocidad adecuada.

Outer Shell speed (velocidad de la capa extrema)

Este parámetro establece la velocidad de la capa exterior de la pieza. Es un parámetro del que va a depender en gran medida el acabado de la pieza, por ello conviene establecer una velocidad baja para este parámetro. En torno a 25mm/s es una velocidad adecuada.

Inner Shell speed (velocidad de los bordes interiores)

Establece la velocidad de los bordes interiores (no son visibles).

Cool

Minimal layer time (tiempo mínimo de capa)

Fija el tiempo mínimo para terminar una capa antes de empezar con la siguiente. Si empezamos una capa sin que la anterior se haya enfriado, puede deformarse la figura. Este valor depende del tipo de plástico que estemos usando y de la temperatura de impresión. Hay que fijar un valor de 10 segundos.

Enable cooling fan (Habilitar ventilador de capa)

Habilita el ventilador de capa, si realmente la impresora contara con uno. El ventilador de capa nos va a ayudar a enfriar las capas de manera uniforme, mejorando en gran medida la calidad de la pieza.

En la pestaña Plugins se pueden añadir funcionalidades al programa. Es posible diseñar plugins para un fin específico o descargarse alguno ya creado. Por defecto Cura tiene dos plugins ya instalados.

Una vez que tengamos los parámetros ajustados, enviamos la información a la impresora 3D. La misma impresora te permite saber el tiempo estimado de la impresión.

Cada alumno obtuvo una copia de su diseño en plástico ABS. Y ya teniendo nuestras piezas, pudimos montar nuestra pinza funcional con su muelle.

II.III Entrevista a Nieves Torralba

Nieves Torralba Collados (Hellín, Albacete, 1964) es la autora de la tesis titulada *"Holografía creativa: una propuesta teórico-práctica de producción de imágenes holográficas"*, desarrollada en el Departamento de Historia del Arte de la Universidad Politécnica de Valencia y defendida en el año 1992. Llevó a cabo su investigación en estrecha colaboración con el Centro de Holografía de Alicante, perteneciente a la Universidad Politécnica de Valencia.

La calidad de la investigación, propició la posterior publicación en el año 1996 de los principales resultados en un libro de la Colección PARAARTE titulado *"Holografía Creativa Española 1983-1993"*, que fue subvencionado por el Instituto de Cultura Juan Gil- Albert.

En 1987, emprende el estudio del medio holográfico realizando el curso de introducción en el Centro de Holografía de Alicante. Este estudio lo realizó con una doble vertiente, desde un punto de vista teórico, iniciando el trabajo que culminó unos años más tarde con la elaboración de su tesis doctoral sobre holografía creativa. Y desde un punto de vista práctico realizando hologramas con los objetivos propios del quehacer plástico.

Su actividad holográfica, discurrió en contacto permanente con el Centro de Holografía de Alicante, junto a Justo Oliva, quien le prestó su apoyo en la práctica plástica y técnica de su obra holográfica.

Su obra muestra toda una serie de experimentaciones entre la pintura y la holografía, donde juega con la fragmentación espacial entre el espacio físico y el espacio total de la placa holográfica, como si fuera un "cuadro dentro de otro cuadro". El resultado es un choque dialéctico entre el espacio plano y la imagen tridimensional.

Torralba haciendo referencia a su obra, dice lo siguiente:

En un proceso retórico de inversión, la holografía, representación tridimensional, total del objeto físico, pasa a formar parte de una nueva realidad, artística en este caso, encerrada en otro objeto físico –el marco. El marco soporte se ajusta perfectamente al holograma y está concebido en función de él, para una vez fusionados conformar una nueva propuesta de orden estético. Así mismo el tratamiento del color deviene foco de atención como necesidad “pictoricista” de trabajar con colores distintos de los holográficos. Torralba N. (1996: 120)

La tecnología ha sufrido una gran evolución desde 1900, la llegada del mundo digital y otras diversas aplicaciones en diferentes campos han transformado en la actualidad nuestra cultura, ¿Cuál es tu visión personal sobre la actual vida tecnológica?

Son verdaderamente impresionantes los avances que han sucedido a todas las escalas (macro y micro), que se suceden día a día, y que se sucederán.... que han cambiado de manera radical nuestra forma de vivir, de pensar, de actuar; pero la tecnología como medio para la creación artística la miro cada vez con mayor distancia, interesándome sólo en aquellos aspectos que tocan más directamente con el trabajo artístico que desarrollo en este momento.

La holografía física, desde su origen, ha presentado una trayectoria sembrada de diversas dificultades. A pesar de ello, ¿crees que podría coexistir entre los lenguajes plásticos actuales? El perfil de artista-hológrafo se ha disuelto en el tiempo, pero puede haber la posibilidad de que esta tecnología siga viva entre los recursos gráficos de los artistas de nuestro siglo. Puede que incluso el concepto holográfico se haya desviado, persistiendo en otra forma tecnológica (como pueden ser las proyecciones holográficas).

Me gustaría saber cual es tu opinión como historiadora de esta materia y cómo piensas que podría confluir en el ámbito artístico.

Contestando a la primera parte de tu pregunta, creo sinceramente que sí, que la

tecnología holográfica es tan fascinante en su recreación de las tres dimensiones, que cualquier holograma atrae al espectador y lo cautiva, pero esa utilización nunca será como lo que se conoció como <holografía creativa> en sus primeros experimentos artísticos.

Y en cuanto a la segunda parte de tu pregunta, las proyecciones en movimiento podrían ser un buen ejemplo de ello. Sin embargo sigo opinando que la línea que divide la utilización de esta técnica como artística, de la de barraca de feria, del espectáculo, sigue siendo muy delgada. Yo confío que los condicionantes técnicos sean cada vez más sencillos en su uso. Algo parecido a las cámaras digitales, a esa revolución digital que ha favorecido nuevas aproximaciones a la creación audiovisual.

En tu trayectoria artística, creo que has demostrado que un artista puede pensar como un científico. Una idea que ha sido tradicionalmente apenas tenida en cuenta, pero que poco a poco ha ido tomando una posición más activa. ¿Qué opinas con respecto al papel del artista en los medios tecnológicos?

Es fundamental. “Vemos” de manera diferente. Recuerdo que cuando con 22 años hablé por primera vez con el director del Centro de Holografía de Alicante, el Dr. Justo Oliva Molina, y le dije que quería hacer mi tesis sobre la imagen holográfica y su posibilidad como medio artístico, me miró con extrañeza (toda la que un investigador teórico puede tener ante la pretensión de una recién licenciada en Bellas Artes de entrar en un sofisticado laboratorio tecnológico), pero no me dijo que no. Lo recuerdo con gran cariño, pues siempre fue muy amable y estuvo dispuesto a experimentar con las propuestas que le presentaba. También digo que no todo fue un camino de rosas...

Se conocen varias técnicas en la holografía, utilizando diferentes mecanismos o soportes de grabado. ¿Podrías contarme alguna experiencia vivida durante tu estancia en el Centro de Holografía de la Universidad de Alicante?

Si, claro. Todas mis estancias eran experiencias-experimentos, siempre iba con

proyectos que nunca se habían hecho. En eso empleé cuatro años de mi vida. El registro holográfico hasta entonces se había utilizado para reproducir objetos de manera efectista, el objeto delante y el fondo plano detrás. ¡ Ay cuando llegué un día y dije que yo lo que quería era invertir el espacio de la representación y que el objeto (tridimensional) fuera el fondo y el fondo (plano) fuese la figura ... Interesante el holograma, me dijeron, pero yo creo que no lo entendieron.

Tras tus estudios sobre la holografía, tal vez, te has planteado cómo podría ser el futuro de esta tecnología. ¿Cuáles han sido tus reflexiones respecto a las aplicaciones que podría ofrecer en diversos campos?

A mí me interesó la posibilidad que ofrecía la holografía como medio para crear imágenes nuevas. Pero en el año 1996, que se publicó mi tesis en forma de libro, la holografía seguía teniendo los mismos condicionantes técnicos que unos cinco años antes. Estas graves limitaciones eran el tamaño de las placas, de la película holográfica y por supuesto la más importante, el acceso al laboratorio (láser, mesa, etc...).

Para un artista no es posible depender de citas a tres o cuatro meses vista para acceder a las instalaciones. El proceso se hace muy lento y el desánimo acaba por ganar. Cuando “puedes” hacer tu holograma es posible que ya no “quieras” hacerlo. Yo pensé que estos condicionantes, con la aparición de nuevos avances, serían eliminados. Pero pasó el tiempo y nada cambió.

Por eso abandoné la tecnología láser y comencé a dibujar con un sencillo lápiz de grafito.

“Holografía artística. Holografía creativa española 1983-1993” junto con otras aportaciones de autores e investigadores que se han volcado en la historia de la holografía, es considerada como una de las mejores publicaciones que se han escrito, ¿Crees que tu aportación ha contribuido a esclarecer el cometido de la holografía en el ámbito artístico español durante esta década?

Pues modestamente así lo creo. La bibliografía existente en ese periodo tiene algunos títulos españoles, pero más centrados en la vertiente de investigación física.

Nieves Torralba

10 de octubre de 2014

II. IV El estudio holográfico de Pepe Buitrago

Esta actividad fue organizada por el Vicedecanato de Extensión Universitaria de la Facultad de Bellas Artes UCM, situado en la calle Mediodía Grande, donde se encuentra el laboratorio holográfico de Pepe Buitrago. Una acción complementaria realizada el 27 de Octubre de 2012 en Madrid.

Como se menciona en el apartado, página, Pepe Buitrago Yañez (Tomelloso, Ciudad Real, 1954) es un buen ejemplo de *Artista-Hológrafo*, que responde a un perfil muy característico de los años 60-70, momento en que la holografía tuvo un gran reclamo entre los artistas.

Buitrago es un artista profundamente arraigado en el dominio de los medios artísticos tradicionales, que fue fuertemente atraído por la incorporación de la holografía en sus obras.

En su obra, desvela una profunda reflexión estética para la gestación de espacios interactivos a través de la complementación de diferentes medios expresivos.

Respecto a su conocimiento en la técnica holográfica, no presta un gran dominio especializado, sin embargo, su obra está cargada de un lenguaje poético, donde se combinan imágenes procedentes de diferentes técnicas.

Parte de la obra de Pepe Buitrago confluyen la escritura y los signos, un lenguaje que implica una concentración de ideas, desembocadas a la imagen. Aquí el concepto de la obra (las palabras holográficas) pesa más que la propia estética.

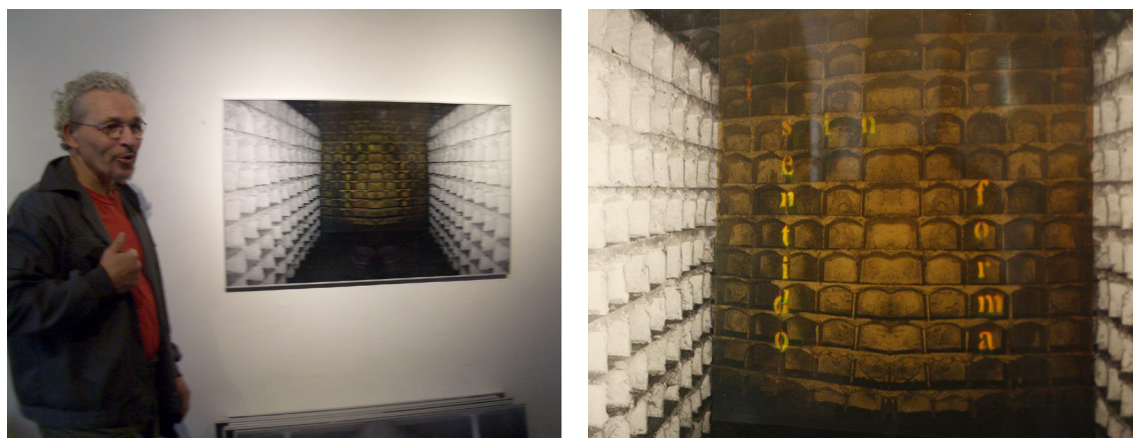


Fig. 111 Hologramas sobre fotografías, 2009-2010 pertenece a la serie *Entre constantes ascensos y descensos*.

Nada más comenzar la visita Pepe Buitrago aclara “No me considero hológrafo, soy artista. Un hológrafo tiene conocimientos de óptica y química de los cuales yo carezco, pero experimento con ello.”

“Siempre me he servido de la técnica que he tenido a mi alcance para mejorar la calidad de mis obras”. Buitrago aclara que el hecho de emplear la holografía no le convierte en un artista único y singular, porque ya en la historia los artistas contaban con este medio, como es el caso de los pintores holandeses que se sirvieron de lentes o artilugios ópticos en la creación de sus obras. Esta tecnología vivió un momento de gran resplandor, en el que muchos artistas como Buitrago se vieron seducidos por esta peculiar herramienta. En 1985, tras recibir la beca Fullbright, viaja a Nueva York, donde descubre la holografía. Más tarde, a pesar de presentar ciertas dificultades, se incorpora a una asignatura en el Royal College of Art de Londres, ciudad donde reside hasta 1996.

Opina que “La técnica es tan importante como la idea”, no es que considere que la técnica predomine en la actividad artística. La expresividad es la finalidad de cualquier obra, y para mejorarla debemos servirnos de una técnica cualificada.

Durante la visita, mientras nos mostraba su laboratorio construido por él mismo, nos explicó cómo se podría confeccionar un holograma a través de los fenómenos físicos subyacentes que dan origen a los hologramas; de esta manera pudimos recrearnos



Fig. 112 Buitrago trabajando en su laboratorio.

en el proceso de la interferencia, la difracción y el registro.

“Un holograma es el registro de la interacción de dos ondas coherentes, provenientes de fuentes puntuales y monocromáticas, en la forma de un patrón microscópico de franjas interferenciales”

“La técnica holográfica hay que buscarla en la naturaleza ondulatoria de la luz[...]Una condición esencial para que se produzcan interferencias: es la luz que debe ser coherente. Los láseres son capaces de producir interferencias de frecuencia, es decir fuentes en fase constante.”

Buitrago emplea la técnica holográfica de transmisión y de reflexión. Por ello, en su laboratorio cuenta con elementos dispuestos en una posición y a una distancia estratégica sobre una plataforma de hormigón, donde se encuentra el láser, el obturador, el complejo de espejos, los filtros, la placa holográfica... un lugar abarrotado en el que se requiere de gran espacio para su práctica.

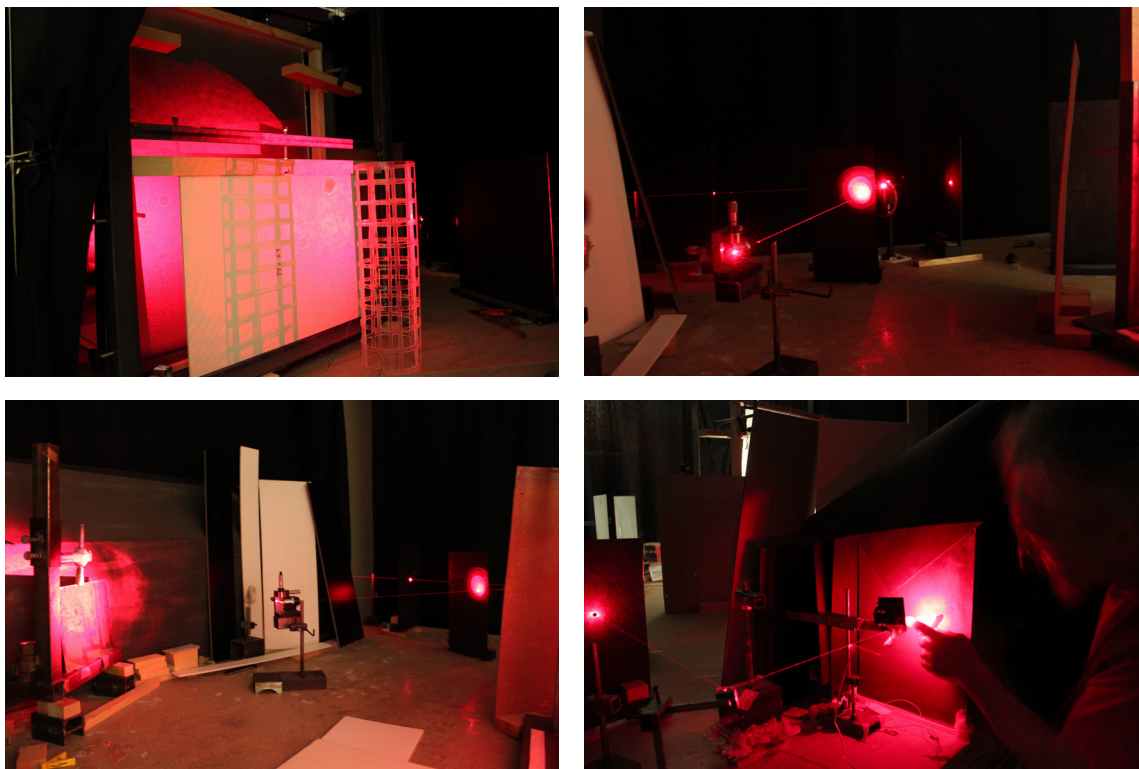


Fig. 113 Conociendo el equipo de trabajo.



Fig. 114 Los trabajos artísticos de Pepe Buitrago.

Para mostrarnos el resultado final de un holograma, nos enseña algunas de sus obras y el contenido conceptual de cada una de ellas.

Entiende la holografía como una forma de escritura de la luz. Como ya hemos mencionado anteriormente, su término toma en un sentido metafórico, como una *escritura del todo*.

En sus obras se puede apreciar como objeto de representación predilecto el ser humano. Esta preferencia la expresa a través de *el cuerpo*. Si el personaje es masculino lo nombra como Atlantes, y si es femenino como Caríatides. La denominación masculina procede de Atlas o Atlante, gigante condenado por los dioses a soportar sobre sus hombros el peso del mundo como castigo por haber dirigido la lucha de sus hermanos contra los dioses Olímpicos, que resultarían finalmente vencedores. El cuerpo femenino recibe el nombre de Caríatides por la denominación, en el pórtico meridional del templo Erektion (Acrópolis de Atenas), de seis de sus columnas que tienen forma de mujer.



Fig. 115 Tarro de las Esencias, técnica Mixta, Hologramas. Tamaño 102x52cm.

A través de sus instalaciones, representa la importancia del rastro del ser humano, y su posición en el mundo: la pérdida de su individualidad, la incomunicación, el consumo. Nos muestra la condena de su dolor que él mismo hombre ha causado en el mundo, es un conflicto consigo mismo.

"Quien deja un rastro, deja una herida". En la mayoría de sus obras muestra siluetas, sin texturas detalladas, plasmadas en forma de friso.

De esta manera, refleja su preocupación por la condición humana, por temas como la identidad, la economía, la locura, y la muerte.

"El hombre de la cartera es esa persona, ese hombre al que se le exigen resultados, el hombre que está abrumado por la competitividad, el éxito, las tarjetas, las decisiones, el miedo... Al mismo tiempo, es un hombre sin "tiempo", es el que cabalga entre la soledad y la necesidad constante de comunicación. Utiliza la apariencia como estrategia. Y aún así, es admirado."

Cuando se realizó este encuentro, Buitrago aún no había fundado el Centro Datos Negros. Durante este periodo tenía en mente realizar este proyecto. Actualmente se ha hecho realidad el centro de holografía y arte, que se encuentra en Villanueva de los Infantes, localidad de Ciudad Real, donde ha establecido la fundación Pepe Buitrago. Una institución de carácter privado, independiente y sin ánimo de lucro, que interactúa con instituciones docentes y profundiza en el estudio y concepto de la holografía.

II.V Eventos y espacios participativos

En los años 90, los festivales de arte digital promovieron la creación artística con herramientas digitales como “el arte del futuro”, a la vez que examinaban, año tras año, los retos que planteaba la integración de las nuevas tecnologías en la sociedad. A principios de la década de 2000, el discurso en estos festivales y entre los especialistas del sector empezó a ser más crítico. A medida que esas “nuevas tecnologías” se han ido integrando en nuestro día a día, la manera en que se muestran y analizan las obras de arte digital, así como nuestra relación con la tecnología, ha ido madurando y generando nuevos debates.

En los últimos años, los festivales de arte y cultura digital han vivido un gran crecimiento. Desde los festivales de los años 90¹⁴⁸ a los actuales se aprecia un cambio en los planteamientos, consiste en que estos presentan una extensa ampliación sobre el espectro tecnológico ya existente, con el “objetivo” de divulgar las nuevas tecnologías y así, aproximarlas a la sociedad.

Sin duda, la mayoría de las organizaciones pretenden configurarse como un espacio expositivo de referencia en el ámbito internacional, y sobre todo rentabilizar su inversión. De esta manera consiguen que la afluencia de los visitantes sea mayor.

La problemática de estas ambiciosas instituciones es que estratégicamente hacen más énfasis en las manifestaciones de nuestra cultura actual, esto no quiere decir que no se deban mostrar, sino que conducen a una percepción sesgada de las piezas interactivas de los artistas, ya que se muestran como simples demostraciones de tecnología para fascinar y entretener a un público, dejando de lado el espíritu crítico, histórico o de análisis alguno.

148. Antes, el arte digital era una parte complementaria de la exposición.

A continuación, se ofrece una muestra de algunos de los espacios más comunes de las prácticas artísticas, bajo una programación cultural digital.

- En Madrid, el **MediaLab Prado** es un laboratorio ciudadano de producción, investigación y difusión de proyectos culturales que explora las formas de experimentación y aprendizaje colaborativo que han surgido de las redes digitales. Es un proyecto perteneciente al Área de Gobierno de Cultura y Deportes (antes Área de Las Artes, Deportes y Turismo) del Ayuntamiento. Sus objetivos son: Habilitar una plataforma abierta que invite y permita a los usuarios configurar, alterar y modificar los procesos de investigación y producción; Sostener una comunidad activa de usuarios a través del desarrollo de esos proyectos colaborativos y Ofrecer diferentes formas de participación que permitan la colaboración de personas con distintos perfiles (artístico, científico, técnico), niveles de especialización (expertos y principiantes) y grados de implicación. Para alcanzar estos objetivos Medialab-Prado ofrece: Un espacio permanente de información, escucha y encuentro atendido por mediadores culturales que explican la naturaleza del espacio y ponen en contacto a personas con personas, a personas con proyectos, a proyectos con proyectos; Convocatorias abiertas para la presentación de propuestas y la participación en el desarrollo colaborativo de proyectos; un programa de actividades compuesto por talleres de producción y de formación, seminarios y debates, reuniones de diferentes grupos de trabajo, muestras de proyectos, conferencias y otros eventos como conciertos y performances; Y una atmósfera de trabajo pensada especialmente para el encuentro, la cooperación y el intercambio, donde caben la vida y los afectos, el valor de lo informal y de la cercanía.
- Durante diez años, el objetivo de **Technarte**, International Conference on Art and Technology (Bilbao), es la de difundir la importancia de la unión entre arte y tecnología como camino para el desarrollo y el conocimiento de los campos del arte, la tecnología y la ciencia. Se ha convertido en un referente internacional para artistas y profesionales del mundo de la tecnología, que acuden anualmente

para descubrir y compartir las obras y proyectos artísticos más innovadores que utilizan la tecnología como herramienta principal de creación.

- **ArtFutura**, el festival de Cultura y Creatividad Digital, explora los proyectos y las ideas más importantes surgidas en el panorama internacional del new media, el diseño de interacción, los videojuegos y la animación digital.

Se celebra anualmente en Barcelona, Buenos Aires y una veintena de ciudades más. Surgió de la confluencia de intereses de varios pioneros de la cibercultura crítica de los años 90, entre ellos, Rebeca Allen, William Gibson y Montxo Algora. Cada edición de ArtFutura está dedicada a un tema central e incluye diversas actividades: conferencias, talleres, exposiciones, espectáculos en directo y un programa audiovisual que recoge las últimas novedades en animación digital, una serie de retrospectivas especiales y los trabajos que optan a los diferentes premios ArtFutura.

- **Digital Revolution** producido por Barbican Internacional Enterprises es la exposición más completa de este movimiento, reúne artistas, cineastas, arquitectos, diseñadores, músicos y desarrolladores de juegos, llevando a los límites los medios digitales. También se examinan desarrollos dinámicos en las áreas de codificación creativa y la cultura DIY (Do It Yourself) o traducido al español “hágalo usted mismo” y las emocionantes posibilidades creativas que ofrece la Realidad Aumentada, la inteligencia artificial, las tecnologías de impresión 3D.

La exposición se articula en base a ocho secciones: Digital Archaeology (arqueología digital) reúne diversos “proyectos creativos de *software*” desde 1970 hasta la actualidad, Creative Spaces (espacios creativos) muestra la manera en que la tecnología digital ha revolucionado los efectos visuales en las grandes producciones de Hollywood, We Create (nosotros creamos) muestra proyectos que “permiten que el público se convierta en creador”, *The State of Play* (estado de juego) explora obras interactivas, *Sound and Vision* (sonido e imagen) se centra en la influencia de las nuevas tecnologías en la música, *Our Digital Futures*

(nuestros futuros digitales) explora diversas tecnologías que previsiblemente serán de uso común en el futuro, *Indie Games* (juegos independientes) ofrece al público una selección del “movimiento de videojuegos independientes”, y *DevArt* es la sección dedicada al proyecto de Google destinado a potenciar la creación de arte hecho con código para formar “un nuevo movimiento artístico”.

- **Google DevArt**, es una iniciativa del Barbican Centre de Londres y Google destinada a “encontrar a los artistas interactivos del mañana” que ofrecía la posibilidad de desarrollar una obra de arte generada por código y por medio de la conjunción de la electrónica, el audio, y el diseño.
- En Francia hay más de 150 espacios que producen, financian o participan activamente en la difusión del arte contemporáneo asociado a las nuevas tecnologías. En muchos casos, el arte digital se integra en un programa que incluye música, artes escénicas y otras disciplinas. Los participantes contaban con un presupuesto y el asesoramiento previamente comisionadas por Google

En la sociedad francesa hay una percepción generalizada del valor de la cultura, que se traduce en políticas culturales destinadas a favorecer la creación artística: a los Fondos Regionales de Arte Contemporáneo (FRAC), cuya misión desde hace más de 30 años es coleccionar arte contemporáneo, exhibirlo y educar al público sobre el valor del arte.

Organismos como el *Dispositivo para la Creación Artística Multimedia* (DICRéAM), creado en 2002, que apoya la producción de obras de arte de nuevos medios y ayuda en su difusión por medio de la elaboración de proyectos curatoriales o editoriales.

En París, centros como **La Gaîté Lyrique** o *Le Cube* apoyan la creación digital en todo su amplio espectro, en otras ciudades diversos espacios y festivales mantienen el buen pulso del encuentro entre arte y cultura digital.

- Desde 2009, **Bouillants** se desarrolla cada primavera en Rennes, y otras localidades vecinas (l'Ille-et-Vilaine, Région Bretagne), en este espacio tienen protagonismo las exposiciones y los encuentros profesionales, destinados a debatir diferentes aspectos de la cultura digital. En especial en su 6ª edición, bajo el título **JE(U)**, que combina las palabras *je* (yo) y *jeu* (juego), el festival propuso un acercamiento a la obra de arte digital a partir de la participación del propio espectador y el aspecto lúdico de las piezas, la mayoría de las cuales se basan además en la cultura de los videojuegos o se configuran como un juego en el que espectador debe participar. El espacio La Laiterie Les Bouillants acogió una exposición de obras acerca de la jugabilidad, en la que han destacado piezas imprescindibles como la máquina Painstation de *Volker Morawe*¹⁵⁶ y *Tilman Reiff* o *Vigilance 1.0* de *Martin Le Chevalier*¹⁵⁷.
- **SAT URBAN-HUB** Sociedad de Montreal (Quebec, en Canadá) de las Artes y Tecnologías (SAT) es un componente importante de este espíritu convergente y consenso. Su enfoque en Arte y Desarrollo de las capacidades creativas del mundo cultural digital ofrece a la comunidad digital creativo de Montreal con una ventana innovadora sobre las crecientes oportunidades para crear e

156. Es un proyecto creado en el 2001, durante un programa de postgrado de la Kunsthochschule für Medien de Colonia, consiste en una consola de mesa para dos personas que se sitúan frente a frente, a ambos lados de una pantalla en la que se muestra el juego Pong (clásico juego de tenis de Nolan Bushnell). Cada jugador maneja un controlador con la mano derecha mientras coloca la mano izquierda sobre un panel metálico con dos botones. Cuando ambos jugadores colocan sendas manos en los paneles, aprietan los botones que se hallan en ellos y, de esta manera, la máquina se pone en marcha. En los extremos de la pantalla, detrás de cada barra, van apareciendo diversos símbolos que representan los diversos tipos de castigo que recibirá el jugador si no logra interceptar la pelota: una descarga eléctrica, calor o un lacerante latigazo. Al recibir el castigo, el jugador suma un punto en su contador de «dolor sufrido» y el juego continúa hasta que uno de los dos jugadores no puede resistir más el dolor y retira su mano del panel metálico.

157. Es un sistema diseñado para contemplar a cada ciudadano como un delincuente en potencia. El videojuego está realizado en perspectiva isométrica y con una apariencia de pantallas divididas que recuerda los sistemas de cámaras de seguridad. Sitúa al jugador al frente de un sistema, como si fuese un vigilante, poniéndole en la tesitura o forzándole a ejercer de forma implacable un control escrupuloso, ya que el no actuar es interpretado por el juego como irresponsabilidad.

introducir la innovación y la alta calidad de los contenidos culturales. El núcleo del concepto de un centro urbano que SAT ha venido desarrollando es ofrecer una plataforma abierta y evolutiva de *software* de vanguardia (en su mayoría de código abierto), la tecnología digital y los recursos para la creación, difusión y distribución de contenidos culturales digitales. La plataforma será utilizada en un ambiente inspirado en las redes de colaboración abierta y conectada con el mundo. SAT Urbano Hub ofrece apoyo, recursos e instalaciones para Montreal y Quebec artistas, investigadores y desarrolladores de negocios para explorar, experimentar e innovar con nuevas tecnologías digitales. En combinación con la red de fibra de banda ancha in situ, por cuenta propia o en colaboración con sus pares en otros lugares en Canadá y en el mundo, los creadores de contenido pueden perseguir una variedad de objetivos, si la naturaleza futurista todavía no definido cultural, social y económica o de. El SAT Urbano Hub integra los componentes del espacio creativo, el talento, la tecnología y las redes para ofrecer una capacidad generativa positivos, sólidamente apoyado por la creciente penetración de la infraestructura digital. Esta integración de apoyo capacidad y talento, mejorar y reforzar las mutaciones positivas de la creatividad de lanzamiento comenzó con la aparición de Internet y la Web en nuestras vidas y la capacidad cada vez mayor para distribuir contenidos culturales fácilmente en un entorno IP totalmente habilitado.

- Desde el 2011, se lleva realizando en Minneapolis, el **Eyeo Festival** sobre artes digitales y tecnología. En esta materia, ha llevado a varios de los mejores exponentes a dar conocer lo que hacen a la comunidad. Y reúnen a los programadores más creativos, diseñadores y artistas que se mantienen activos en la actualidad.

El festival es un evento de tres días con conferencias, laboratorios, demostraciones y eventos impulsados por la gente y los instrumentos que están transformando la cultura digital.

- **The National Museum of Emerging Science and Innovation**, conocido simplemente con el nombre Miraikan, que literalmente significa Futuro Museo. Se inauguró en el año 2001 y Está situado en un nuevo edificio construido especialmente en el Odaiba Distrito de Tokio.
- Aaron Koblin, como jefe de tecnología del laboratorio creativo de Google en San Francisco, trabajó en el lanzamiento de **Chrome Experiments**, una website que muestra los trabajo en JavaScript de diseñadores de todo el mundo.

MediaLab Prado	http://medialab-prado.es
Technarte	http://www.technarte.org/es/
ArtFutura	http://www.artfutura.org/v2/
Digital Revolution	https://www.youtube.com/watch?v=r5Hi72Dwo0E
La Gaîté Lyrique	https://gaite-lyrique.net
Bouillants	http://www.bouillants.fr
SAT URBAN-HUB	http://www.sat.qc.ca
Eyeo Festival	http://eyeofestival.com
Google DevArt	https://devart.withgoogle.com/es#/
Chrome Experiments	https://www.chromeexperiments.com
Miraikan	http://www.miraikan.jst.go.jp/en/

Índice de ilustraciones

Fig. 1 Análisis cronológico de la imagen tridimensional.	14
Fig. 2 Chronological analysis of the three-dimensional image.	26
Fig. 3 Segunda Revolución tecnológica, fabricación de automóvil.	39
Fig. 4 La UNIVAC I (Universidad Automatic Computer I, Computadora Automática Universal), fue diseñada por J. Presper Eckert y Jhon William Mauchly, fue el primer ordenador fabricado para un propósito no militar en 1941.	41
Fig. 5 Residuos de aparatos tecnológicos.	43
Fig. 6 Representación ilustrativa del consumo colaborativo.	49
Fig. 7 Albert Cañigual Bagó en la edición 2014 de <i>TrendSpain</i>	53
Fig. 8 Lugar íntimo de un hikikomoris. A menudo, la televisión y los videojuegos se convierten en su marco de referencia.	69
Fig. 9 Análisis cronológico de los sistemas de representación tridimensional.	82
Fig. 10 Miniatura de epistolario de Enrique II. Realizada en el año 1025.	85
Fig. 11 Representación de la Anunciación. Considerada primera figura imposible.	85
Fig. 12 Ejemplo de una perspectiva anamórfica con un espejo cilíndrico. Se trata de un grabado realizado por el artista húngaro István Orosz (1951-).	87
Fig. 13 <i>Étude de mouvement</i> (1939), obra de Víctor Vasarely. Las líneas curvas sobre el fondo marrón dan sensación del movimiento de las olas. Como punto de atención, en el centro, se encuentra una veleta de pesca en color rojo, que parece, que está flotando sobre estas líneas curvas.	89
Fig. 14 Portada de <i>Oculus hoc est fundamentum opticum</i> , de Christopher Scheiner, Innsbruck, 1619.	98
Fig. 15 Retrato de <i>Madame Louis-Francois Godinot</i> (1829) por Jean Auguste Dominique Ingres.	103
Fig. 16 Una de las primeras ilustraciones que se conocen de la cámara oscura de caja, se encuentra en la obra más prolífica <i>Oculus Artificialis Teledioptricus Sive Telescopium</i> (Würzburg, 1685), fue escrito e ilustrado por el escritor alemán Johann Zahn (1631-1707). Esta obra contiene numerosas descripciones e ilustraciones tanto de la cámara oscura como de la linterna mágica, y representó una gran evolución en la historia de la cámara fotográfica, ya que la pantalla podía permanecer oscura mientras el operador cambiaba la diapositiva.	106
Fig. 17 Joven sentado en el suelo dibujando con un compás. Ilustración de Chimenti.	116
Fig. 18 Formación de la imagen en la retina.	127
Fig. 19 Visión binocular del ser humano.	128
Fig. 20 Recorrido desde el campo visual hasta el centro de procesamiento primario de la información visual, conocido como <i>núcleo geniculado lateral (NGL)</i>	130
Fig. 21 Autoestereograma de patrones repetitivos (arriba), y la imagen que contiene (abajo).	133
Fig. 22 La imagen vista cambia en función del ángulo de observación.	135
Fig. 23 Ejemplos de dispositivos holográficos.	137

Fig. 24 Imágenes aéreas de la aplicación en femtosegundos.....	139
Fig. 25 Fuente: http://www.zebraimaging.com "We make 3D Holographic Prints from 3D models.".....	141
Fig. 26 Técnica tradicional de ilusionismo empleada en un teatro durante la segunda mitad del siglo XIX.....	142
Fig. 27 Vídeo mapping <i>Omote</i>	145
Fig. 28 Espectáculo creado con un estereograma en el Madison Square Garden.....	147
Fig. 29 Ilustración de Norman Rockwell, titulado "Boy with the stereoscope", para la portada n° 14 de la revista The Saturday Evening Post.....	149
Fig. 30 Método de visionado de efecto 3D con ayuda de espejos.	150
Fig. 31 Sistema micropolarizado. Ambas imágenes comparten el mismo campo, en líneas alternas. Las gafas polarizadas hacen que un ojo pueda ver un conjunto de líneas (en este caso, las correspondientes a la imagen izquierda), y que el resto le sean bloqueadas.....	154
Fig. 32 El polarizador lineal convierte un haz no polarizado en uno con una única polarización lineal. Se transmiten los componentes verticales en todas las ondas, mientras que los componentes horizontales se absorben y reflejan.	155
Fig. 33 La luz polarizada en el sentido de las agujas del reloj es transformada en luz linealmente polarizada con la misma dirección que el eje de transmisión del polarizador lineal, por lo cual lo atraviesa. La luz polarizada en el sentido contrario de las agujas del reloj se habría polarizado en dirección perpendicular, siendo después bloqueada por el polarizador.	156
Fig. 34 <i>Project Morpheus</i> (RV).	159
Fig. 35 Gafas <i>Oculus Rift</i>	160
Fig. 36 Dispositivo <i>vrAse</i>	161
Fig. 37 <i>Google Card board</i>	162
Fig. 38 <i>Gear VR de Samsung</i>	163
Fig. 39 Sensor sensitivo lineal para guantes sensitivos. Según Wright S, 1990.....	165
Fig. 40 Las Google Glass.	169
Fig. 41 <i>Project Hololens</i>	170
Fig. 42 Escenas de la película <i>Los juegos del hambre</i> , título original <i>The Hunger Games</i>	174
Fig. 43 Los patrones de interferencia.	195
Fig. 44 El camino de la luz en la holografía de transmisión.	196
Fig. 45 Cómo se ve un holograma de transmisión de luz blanca.....	197
Fig. 46 Cómo se ve un holograma de reflexión.....	198
Fig. 47 Maurice Francon (1913-1996).....	201
Fig. 48 Dennis Gabor explicando la formación de un holograma (1971).	209
Fuente: aip.org (AIP American Institute of Physics).....	209
Fig. 49 Reconstrucción digital / Esquema del procedimiento.	219
Fig. 50 Los billetes de la Unión Europea (1996) tienen una banda holográfica a la derecha, donde aparece grabada su denominación. Este proceso de elaboración es conocida como técnica de estampado, en inglés <i>embossed hologram</i>	225
Fig. 51 Cómo se genera un holograma integral.....	227
Fig. 52 <i>Holo Video Mark II</i> . Fotografía tomada en el MIT Media Lab.	228
Fig. 53 Benton, en 1986, demostrando como la imagen está flotando. Fotografía tomada en el MIT Media Laboratory.....	229
Fig. 54 Dispositivo de vídeo holográfico, <i>Fake Space Lab</i> creado por la empresa Sony.	230
Fig. 55 Detalle del dispositivo de proyección <i>Fake Space Lab</i>	231
Fig. 56 Detalle del dispositivo de proyección <i>Aerial Burton</i>	233
Fig. 57 Dispositivo de proyección, <i>Aerial Burton</i> creado por la empresa Burton.	234
Fig. 58 Vistas de un automóvil (arriba) y de un cerebro humano (parte inferior) de la pantalla holográfica de polímero fotorrefractivo desarrollado en el Colegio de Ciencias Ópticas de la Universidad de Arizona en colaboración con Nitto Denko Corp. Técnica, Oceanside, California.....	235
Fig. 59 Proceso de modelado Nurbs.....	255
Fig. 60 Proceso de modelado poligonal.	255
Fig. 61 Proceso de modelado por Subdivisión de superficies.	257

Fig. 62 Secuencia de operaciones realizadas por la CPU para generar vértices.....	262
Fig. 63 Cronograma de la evolución del <i>software</i>	267
Fig. 64 Cronograma de la evolución del <i>software</i>	268
Fig. 65 Cronograma de la evolución del <i>software</i>	269
Fig. 66 "The holography Handbook", en español "El Manual de Holografía". Primera edición publicada en 1981.	299
Fig. 67 Obra de Salvador Dalí "Holos! Holos! Velázquez! Gabor!" Collage holográfico.....	307
Dalí era experto en dar forma a las imágenes para cambiar su significado. Se trata de un holograma que combina dos imágenes, en una aparece una escena compuesta por unos jugadores de cartas y en la otra es una representación de Las Meninas.	307
Fig. 68 Obra de Salvador Dalí, titulada "The Brain of Alice Cooper" (1973), Holograma integral.	307
En la secuencia aparece Cooper adornado en joyas y flotando en el aire. Su cerebro sale de su cabeza y flota detrás de él mientras le canta a una Venus de Milo como si fuese un micrófono.	307
Fig. 69 Obra de Margaret Benyon, titulada "Tango" (1983), tamaño 8"x10" holograma de reflexión.	317
Fig. 70 Obra de Rudie Berkhout, titulado "Cubic Fold #1" (2002) Holograma de reflexión.	320
Fig. 71 Obra de Pepe Buitrago, "Sostenible-Insostenible", compuesto por hologramas, cristal y madera pintada (2004).....	323
Fig. 72 Piezas exhibidas en la exposición <i>Pictures from the Moon: Artist" Holograms</i> . Serie "Sin título", (1998) formado por 8 hologramas. Colección Privada.....	327
Fig. 73 Detalle de una de las piezas de la Serie "Sin título", (1998). Colección Privada.	327
Fig. 74 Libro infantil "The Mirrorstone" (1986) ilustrado con un holograma en la portada.....	332
Fig. 75 Portada de la revista National Geographic (1985).....	332
Fig. 76 Noveno álbum de estudio Paradise Theatre de Styx producido en 1980.	333
Fig. 77 Obra de Harriet Casdin-Silver, titulada "Kathryn of Orange" (1992) tamaño 12"x16" holograma de transmisión con láser.	337
Fig. 78 Obra de Pepe Buitrago, titulada "Gran Vidrio" (1995-2016), tamaño 60x40 cm, hologramas de reflexión. Fotografía tomada en el estudio de Pepe Buitrago.....	339
Fig. 79 Obra de Alexander, titulada "SURPRISE" (1992), tamaño 10,75x9,25" es un holograma de reflexión empleada para ilustrar la monografía "Alexander" escrita por Edward Lucie-Smith.....	341
Fig. 80 Obra de Ana María Nicholson titulada "April" (2009), holograma de reflexión policromado.	343
Fig. 81 Obra de Peter Miller titulada "Lizard on Board" (1987) tamaño 8"x10", holograma multicanal (reflexión).....	345
Fig. 82 Autorretrato de Chuck Close, titulada "Sin título #1" (1997), tamaño 35.5 x 28 x 2 cm	347
Fig. 83 Obra de Lloyd Cross, titulada "kiss II" (1974), estereograma holográfico.	349
Ejemplo de cómo se combinó esta técnica con los ordenadores para crear películas holográficas.	349
Fig. 84 Obra de Paula Dawson, titulada "To absent friends" (1989) tamaño 4"x 5" hologramas de transmisión. (Abajo) detalle de la obra. Actualmente se encuentra en la Universidad de Macquarie, en el Departamento de Física y Astronomía.....	351
Fig. 85 Obra de Rob Munday, titulada "Z" (1992).....	353
Fig. 86 Rob trabajando en su prototipo <i>Commodore Amiga</i> basado en el sistema DI-HO en su estudio de Chertsey, Surrey, en 1992.....	353
Fig. 87 CARTOGRAFÍA. Desde los años 70 hasta 2017	358
Fig. 88 Obra de Martin Richardson, titulada "David Bowie" (2012) Imagen lenticular, tamaño 500 x 600mm.	361
Fig. 85 Obra de Pepe Buitrago, titulada <i>Where is the way?</i> Instalación holograma rainbow (Arco iris) tamaño 100 x 135 cm y vídeo proyección 2007-2010.....	364
Fig. 89 Paula Dawson usando <i>Holoshop</i> y el software <i>Phanton Premium 1.5</i>	365
Fig. 90 Obra de de Dora Tass, titulada "Perturbing Objects" (2011) Tamaño 90 x 45 x 42 cm.	367
Fig. 91 Obra de de Tony Oursler, titulada "Man She She" (1997) Escultura realizada con video proyección, 16 x 10 x 7.	369

Fig. 92 Esculturas cinéticas de Paul Friedlander (arriba) <i>"Wave Function"</i> presentada en Art Futura XXI, bajo el título <i>"Repasando el futuro"</i> en Azkuna Zentroa Bilbao, en el 2011 (abajo) <i>"Spinning Cosmos"</i> exhibida en la 5º edición de Art Futura, bajo el título <i>"Nuestra cultura es digital"</i> , Museo de Arte Latinoamericano de Buenos Aires, Malba, en el 2012.....	372
Fig. 93 Proyecto experimental usando Xbox One Kinect para la captura de datos, realizado por Frederico Philips, Samuel Blalark, Jaseon Gerrero, Shiho Tanaka y Maria Takeuchi [Fuente] asphyxia-project.com/gallery	377
Fig. 94 Vídeo experimental (2012) realizado por James George y Jonathan Minard para la conferencia de FITC, bajo el título <i>"Ask Me Anything"</i>	379
Fig. 95 Vídeo musical interactivo, titulado <i>"House of Cards"</i> (2010) realizado por Aaron Koblin y exhibido en el Victoria & Albert Museum, Londres.	381
Fig. 96 Hologramas de reflexión del <i>Tesoro de Villena</i> (1983) realizados por el Dr. J. A. Quintana, Centro de Holografía, Universidad de Alicante, 1984.	405
Fig. 97 El rey Karl Gustaf recibió el holograma nº 1/20 en relación con el 20 aniversario en el Palacio Real (1990). (derecha) Este es el primero de la serie y el nº17 se encuentra actualmente en el Museo de Chicago.	406
Fig. 98 Ruiz J sosteniendo uno de los hologramas para el trabajo de investigación (2004-2005).	408
Fig. 99 Gafas 3D anaglíficas.	447
Fig. 100 Recorrido del haz para el registro de un holograma de transmisión.	468
Fig. 101 Recorrido del haz para el registro de un holograma de reflexión.	472
Fig. 102 Impresora <i>MakerBot</i> de primera generación.	483
Fig. 103 Impresora <i>MakerBot</i> de primera generación.	484
Fig. 104 Tipos de densidad interna.	485
Fig. 105 Parámetros de fabricación.	486
Fig. 106 Interfaz de <i>MakerBot</i>	488
Fig. 107 Modelando con el <i>software</i> Modo.	491
Fig. 108 Proceso final de impresión.	492
Fig. 109 Paso A. Parámetros <i>Quality</i> (calidad), <i>Fill</i> (relleno), <i>Speed</i> , (velocidad) <i>Support</i> (soporte) y <i>Filament</i> (filamento).	494
Fig. 110 Paso B. Parámetros <i>Machine</i> (máquina), <i>Retraction</i> (retracción), <i>Quality</i> (calidad), <i>Speed</i> (velocidad), <i>Cool</i> (temperatura).	498
Fig. 111 Hologramas sobre fotografías, 2009-2010 pertenece a la serie <i>Entre constantes ascensos y descensos</i>	506
Fig. 112 Buitrago trabajando en su laboratorio.	507
Fig. 113 Conociendo el equipo de trabajo.	508
Fig. 114 Los trabajos artísticos de Pepe Buitrago.	509
Fig. 115 Tarro de las Esencias, técnica Mixta, Hologramas. Tamaño 102x52cm.	510

Glosario

Algoritmos

Modelo matemático que funciona sobre una vasta cantidad de estructuras de datos. Es una secuencia de pasos lógicos y ordenados con las cuales le damos solución a un problema determinado.

Los algoritmos pueden ser expresados de muchas maneras, incluyendo al lenguaje natural, pseudocódigo, diagramas de flujo y lenguajes de programación entre otros.

Anaglifo

En griego significa “*tallado en relieve*” o “*bajorrelieve*”, son imágenes compuestas por capas de diferentes colores mezcladas entre sí en posiciones ligeramente distintas, cuya combinación creará un efecto tridimensional en la imagen final.

Archivo STL

Las siglas STL provienen del inglés *STereo Lithography*, es un formato de archivo digital que define la geometría de los objetos 3D, excluyendo información como color, texturas o propiedades físicas.

Es el formato estándar para las tecnologías de fabricación aditiva y casi todos los *software* pueden realizar una exportación a dicho formato. Utiliza una malla de triángulos cerrada para definir la forma de un objeto. Cuanto más pequeños son estos triángulos, mayor será la resolución del fichero final; el tamaño de los triángulos está directamente proporcionado con el peso del fichero.

Autoestereograma

Es un tipo de estereograma que permite a una persona ver formas tridimensionales a través de una imagen bidimensional sin la ayuda de equipos ópticos.

Automatización

El término “automatización” viene de la palabra griega auto y significa la ejecución por medios propios de un proceso, en el que materia, información o energía es cambiado o transformado. Es una amplia variedad de tareas de producción que operan con mínima o sin intervención del ser humano. La fabricación automatizada surgió de la íntima relación entre

fuerzas económicas e innovaciones técnicas como la división del trabajo, la transferencia de energía, la mecanización de las fábricas y el desarrollo de las máquinas de transferencia y sistemas de realimentación.

Big Data

Macrodatos o datos masivos es un concepto que hace referencia al almacenamiento de grandes cantidades de datos y a los procedimientos usados para encontrar patrones repetitivos dentro de esos datos. El fenómeno del big data también se denomina a veces datos a gran escala. En los textos científicos en español con frecuencia se usa directamente el término en inglés big data, tal como aparece en el ensayo seminal de Viktor Schönberger *big data: La revolución de los datos masivos*.

Cámara oscura

Aparato óptico a manera de caja cerrada con un orificio en una de sus paredes a través del cual pasan los rayos luminosos, que forman una imagen invertida de los objetos exteriores sobre la pared opuesta.

Campo visual

Es la porción del espacio que el ojo es capaz de ver.

Ciberespacio

Es una realidad simulada que se encuentra implementada dentro de los ordenadores y de las redes digitales de todo el mundo. Este término es un muy recurrente en la ciencia ficción sobre todo en el subgénero *Cyberpunk*, como una especie de “ciberinfinito”.

Ciberpunk

Término de origen inglés, se trata de un subgénero de la ciencia ficción, conocido por su enfoque en un futuro distópico con alta tecnología y bajo nivel de vida y toma su nombre de la combinación de cibernética y punk. Mezcla ciencia avanzada, como la informática y la cibernética junto con algún grado de desintegración o cambio radical en el orden social.

Computación oblicua

También conocido en inglés por términos como *Pervasive computing*, *Calm Technology*, *Things That Think* y *Everyware*. Este concepto se define como la integración de la informática en el entorno de la persona, de manera que los ordenadores no se perciben como objetos diferenciados, sino como complementos necesarios y omnipresentes.

Computer Assited Virtual Environment

Conocido por la abreviatura CAVE, en español significa *cueva*, es una sala en forma de cubo en la que cada una de las paredes tiene una imagen proyectada, formando en su conjunto un entorno virtual, y en la que el usuario puede interactuar a través de unas gafas especiales.

Consumo colaborativo o Economía compartida

Modelo económico centrado en la colaboración y la ayuda mutua en función de las necesidades específicas de los individuos.

El término “*Economía Colaborativa*” proviene de la expresión inglesa “*Sharing Economy*”, divulgado separadamente por Lisa Gansky y Rachel Bootsman con Roo Rogers en 2010.

Cross eyed (Visión de ojos cruzados)

Es un sistema de lado a lado, pero en este caso hay que invertir las imágenes: el ojo derecho debe dirigirse en la imagen situada en el lado izquierdo y el ojo izquierdo debe dirigirse en la imagen situada en el lado derecho. El efecto 3D se crea cuando se cruzan ambos ojos, presentando las imágenes unidas.

CPU

La unidad central de procesamiento o unidad de procesamiento central (conocida por las siglas CPU, del inglés: *central processing unit*), es el hardware dentro de un ordenador u otros dispositivos programables, que interpreta las instrucciones de un programa informático mediante la realización de las operaciones básicas aritméticas, lógicas y de entrada/salida del sistema.

Daguerrotipo

Fue el primer procedimiento fotográfico anunciado y difundido oficialmente en el año 1839. Los daguerrotipos se distinguen de otros procedimientos porque la imagen se forma sobre una superficie de plata pulida como un espejo. Para economizar, normalmente las placas eran de cobre plateado, pues sólo era necesario disponer de una cara plateada.

Destrucción creativa

En economía, la *destrucción creativa* es un concepto atribuido al sociólogo alemán Werner Sombart (1863-1944) y popularizado por el economista austriaco Joseph Schumpeter (1883-1950) en su libro *Capitalismo, socialismo y democracia* (1942). Define el proceso de innovación que tiene lugar en una economía de mercado mediante el que los nuevos productos destruyen a viejas empresas y modelos de negocio. Para Schumpeter, las innovaciones de los emprendedores son la fuerza que hay detrás de un crecimiento económico sostenido a largo plazo pese a que puedan destruir el valor de compañías bien establecidas en el camino.

Desmaterialización (de la economía)

Es una propuesta estratégica de sostenibilidad mediante la reducción del tiempo de uso de los insumos utilizados para la producción. Este concepto tiene una relación directa con el de productividad, entendida como la relación entre la cantidad producida y la cantidad de insumos utilizados en tal producción. Así, cuanto menor sea la cantidad de insumos utilizados en la producción de una unidad de producto, tanto mayor será la productividad, entendida también como la eficiencia en la producción.

Disparidad visual

Es la diferencia entre el punto de proyección en los dos ojos, como consecuencia de su separación entre sí. Se trata de un fenómeno binocular que proporciona una visión en profundidad y permite que se produzca en cada ojo una imagen con un ángulo de visión independiente (disparidad horizontal) y se expresa en grados de ángulo.

Dispositivos hápticos

Son dispositivos de entrada y salida, que simulan el contacto físico entre el mundo virtual representado en la computadora y el usuario, es decir, permite al usuario tocar, sentir, manipular, crear y cambiar objetos tridimensionales de los cuales se simula su comportamiento dentro de un ambiente virtual.

Escáner 3D

Dispositivo que captura digitalmente la forma y las dimensiones de un objeto físico mediante un conjunto de coordenadas tridimensionales. El resultado es una capa superficial de puntos conocida como nube de puntos, donde cada punto contiene información de la posición en la que se encuentra en el espacio tridimensional. Una vez registrados esos datos se envían al ordenador, donde el programa realiza una serie de cálculos para convertir esa nube de puntos en una malla de superficie.

Estereopsis

Fenómeno capaz de fusionar las diferentes señales recibidas de la retina. Este proceso se origina de forma inconsciente, dándonos el campo visual y permitiéndonos un cálculo más preciso de las distancias, el volumen, la profundidad y el relieve.

Estereoscopia

La estereoscopia es cualquier técnica capaz de recoger información visual tridimensional y/o crear la ilusión de profundidad mediante una imagen estereográfica, un estereograma, o una imagen 3D (tridimensional). La ilusión de la profundidad en una fotografía, película, u otra imagen bidimensional se crea presentando una imagen ligeramente diferente para cada ojo, como ocurre en nuestra forma habitual de ver.

Exotropía

Es una anomalía de la visión binocular caracterizada por una divergencia de las líneas de la mirada cuando los ojos están en reposo fisiológico (es decir, en disociación con la visión binocular).

Ficción pulp

Pulp es un término que hace referencia a un formato de encuadernación en rústica, barato y de consumo popular, de revistas especializadas en narraciones e historietas de diferentes géneros de la literatura de ficción.

Figura imposible

Las figuras imposibles son una serie de objetos imaginarios porque su construcción en las tres dimensiones conocidas no se puede dar. La representación de estos objetos es por medio de dibujos.

Existen varios tipos de figuras imposibles. Hay algunos en que el ancho se convierte en el alto o en la profundidad, de manera que observando área por área, el dibujo tiene lógica, pero no así en su totalidad. Otros simplemente nos engañan con la perspectiva en que son plasmados, pues en el dibujo se pueden interpretar dos perspectivas y ninguna es correcta. El ejemplo clásico es el cubo imposible.

Firmware

El *firmware* es un programa informático que establece la lógica de más bajo nivel que controla los circuitos electrónicos de un dispositivo de cualquier tipo. Está fuertemente integrado con la electrónica del dispositivo, es el *software* que tiene directa interacción con el hardware, siendo así el encargado de controlarlo para ejecutar correctamente las instrucciones externas.

Fotografía integral

Consiste en una placa compuesta por una serie de lentes esféricas, capaces de grabar una imagen completa en todas las direcciones y que intenta imitar el sistema visual de los insectos. Cada ojo se compone de unas células microscópicas que no dan una imagen, sino una información puntual. Estas células se agrupan entre sí, formando un denso mosaico.

Formato AMF

Additive Manufacturing Format (en español *Archivo de Fabricación Aditiva*) es un marco basado en XML, de código abierto, que se usa para el intercambio de datos. Además de la geometría del modelo, los archivos AMF pueden incluir información sobre el color y los materiales de los objetos que se destinan a la impresión en 3D.

Fóvea

Área de la retina donde se enfocan los rayos luminosos, cuanto más alejado se encuentre el área estimulada, mayor será el movimiento que el ojo deberá realizar para fijar un objeto.

Freeviewing (Visión libre)

Consiste en todas aquellas fórmulas de observar y percibir el efecto 3D sin la necesidad de emplear ninguna ayuda óptica o sistema de visionado (Los científicos la llaman visión tridimensional autónoma), y se denomina autoestereograma a los estereogramas que cumplen con dichas características.

Fuerzas productivas

Concepto central del marxismo. Los primeros medios de producción son los elementos naturales que permiten la subsistencia del hombre. Estos materiales se transforman mediante los procedimientos laborales: complejo industrial, división del trabajo, agrupamiento de los obreros, etc.

Globalización

La *globalización económica* es un proceso que comprende la difusión de los mercados financieros y del comercio basándose en estrategias comerciales e influencias políticas, las cuales dependen del desarrollo tecnológico para que el proceso globalizador sea más rápido y efectivo.

GPL

La Licencia Pública General de GNU o más conocida por su nombre en inglés *GNU General Public License* (o simplemente sus siglas del inglés GNU GPL) es la licencia más ampliamente usada en el mundo del *software* y garantiza a los usuarios finales (personas, organizaciones,

compañías) la libertad de usar, estudiar, compartir (copiar) y modificar el *software*. Su propósito es declarar que el *software* cubierto por esta licencia es *software* libre y protegerlo de intentos de apropiación que restrinjan esas libertades a los usuarios. Esta licencia fue creada originalmente por Richard Stallman fundador de la *Free Software Foundation* (FSF) para el proyecto GNU.

GPU

Unidad de procesamiento gráfico (*Graphics Processor Unit*) es un coprocesador dedicado al procesamiento de gráficos u operaciones de coma flotante, para aligerar la carga de trabajo del procesador central en aplicaciones como los videojuegos o aplicaciones 3D interactivas. De esta forma, mientras gran parte de lo relacionado con los gráficos se procesa en la GPU, la unidad central de procesamiento (CPU) puede dedicarse a otro tipo de cálculos (como la inteligencia artificial o los cálculos mecánicos en el caso de los videojuegos).

Granjas de render

Una *render farm*, o en español *granja de render* es una agrupación de varias computadoras repartiéndose el trabajo de renderizar las imágenes o animaciones realizadas con un programa de tridimensional como K-3D cuya interfaz y desarrollo está basado en el standard Renderman, Blender, el cual tiene su propio motor de animaciones o interconectividad con el standard Renderman, 3D Studio, Cinema4D o Maya.

Hackers

Experto entusiasta de la informática, que considera que poner la información al alcance de todos constituye un extraordinario bien.

Head Mounted Display (HMDs)

Es un dispositivo de salida o casco inmersivo. En español se conoce como *casco de Realidad Virtual* y se trata de una tecnología que permite al usuario formar parte del sistema, perdiendo el contacto con la realidad y recibe únicamente los estímulos del mundo virtual.

Hikikomori

Término japonés que en español significa “*apartarse*”, o “*estar recluso*”, es un síndrome que quienes lo padecen se recluyen en casa renunciando a su vida social.

Holografía digital

Es la tecnología de adquisición y procesamiento de recolecciones holográficas, típicamente a través de una cámara digital o dispositivos similares. Este proceso consiste en la reconstrucción numérica de los datos recolectados, a diferencia de los sistemas de reconstrucción óptica que sólo reproducen el aspecto del objeto.

Holografía física

Técnica tradicional basada en el empleo de la luz producida por dos haces de rayos láser.

Holograma

Es una imagen tridimensional registrada en una placa fotosensible. El registro de un holograma se obtiene a partir de datos referidos a la intensidad, la amplitud, la longitud de onda y la fase de la luz reflejada por un objeto.

Holographic Display

Un dispositivo de visualización volumétrica es un aparato que forma imágenes en tres dimensiones a través de la emisión, dispersión, o la retransmisión de la iluminación en las coordenadas y, x z del espacio.

Horóptero

El *horóptero* se define como el lugar geométrico de los puntos del espacio objeto que dan lugar a una misma dirección visual para ambos ojos sin necesidad de que se produzcan movimientos oculares de tipo fusional.

Imagen lenticular

Consiste en una matriz lineal formado por lentes convexas cilíndricas, individualmente se conocen como "lenticules", mediante estas lentes se crea una ilusión de profundidad en las imágenes impresas produciendo la sensación de movimiento, según la imagen es vista desde diferentes ángulos.

Impresión Lenticular

La impresión lenticular es una tecnología de impresión que utiliza un plástico lenticular para producir imágenes con ilusión de profundidad y 3D o con la capacidad de cambiar o moverse a medida que la imagen se ve desde ángulos diferentes.

Impresoras 3D

Una *impresora 3D* es una máquina capaz de realizar réplicas de diseños en 3D, creando piezas o maquetas volumétricas a partir de un diseño hecho por ordenador, descargado de internet o recogido a partir de un escáner 3D.

Por lo general, estas impresoras siguen las instrucciones de un *software* de modelado, donde previamente se ha diseñado el archivo digital, conocido como modelo 3D. Una vez terminado el diseño, este archivo se exporta en un formato llamado STL, STereo Lithography, que comanda a la impresora para colocar la materia prima en capas, formando así el objeto tridimensional.

Innovación

Es un cambio que supone una novedad o una transformación. Además, en el uso coloquial y general, el concepto se utiliza de manera específica en el sentido de nuevas propuestas, inventos y su implementación económica. En el sentido estricto, en cambio, se dice que de las ideas solo pueden resultar innovaciones luego de que ellas se implementan como nuevos productos, servicios o procedimientos, que realmente encuentran una aplicación exitosa, imponiéndose en el mercado a través de la difusión.

Innovación tecnológica

Invencción de un artefacto novedoso. La actividad tecnológica influye en el progreso social y

económico, pero si su aplicación es meramente comercial, puede orientarse a satisfacer los deseos de los más prósperos (consumismo) o ser usadas para satisfacer necesidades esenciales.

Interfaz

Es un circuito físico que envía o recibe señales de un sistema hacia otro, para brindar la comunicación a diferentes dispositivos. La interfaz se entiende como un espacio o un lugar donde se desarrolla la interacción y la comunicación del usuario con una computadora o dispositivo, siendo éste capaz de interpretar el código binario mediante la visualización un conjunto de elementos que aparecen reflejados en la pantalla. La Interfaz táctil, Se compone de una pantalla sensible al tacto que permite interactuar con el dedo de forma similar a si se accionara un control físico. Normalmente representa gráficamente el mismo contenido que en la computadora, aunque sufre un proceso de adaptación.

Láser

Un *láser* (del inglés *l[ight] a[mplification] [by] s[timulated] e[mission] [of] r[adiation]*; amplificación de luz por emisión estimulada de radiación) es un dispositivo que utiliza un efecto de la mecánica cuántica, la emisión inducida o estimulada, para generar un haz de luz coherente tanto espacial como temporalmente.

Linterna mágica

Aparato con forma cilíndrica y lente usada como condensador. Dicha lente proyectaba, ampliadas a través de una pantalla, imágenes que habían sido pintadas con colores translúcidos sobre finos trozos de vidrio.

Microexpresiones

Una Micro-Expresión es una momentánea e involuntaria expresión facial presentada en el rostro de las personas de acuerdo con las emociones que estas sienten. Suelen ocurrir en situaciones con un alto riesgo, donde la persona tiene mucho que ganar o perder. A diferencia de las expresiones faciales comunes es muy difícil esconder las micro-expresiones. Paul Ekman en los años 70, parametrizó las emociones básicas y universales: felicidad, sorpresa, enfado, asco, tristeza, miedo.

Mixed vision (Visión Mixta)

Es una combinación de las técnicas Parallel eyed (Visión de imágenes paralela) y Cross eyed (Visión de ojos cruzados). Alternando la imagen de un lado y otro, se puede conseguir una imagen paralela y una cruzada.

Modelo económico

Se puede entender un modelo económico como una representación o propuesta o, más ampliamente, como un concepto ya sea proposicional o metodológico acerca de algún proceso o fenómeno económico. Como en otras disciplinas, los modelos son, en general, representaciones ideales o simplificadas, que ayudan a la comprensión de sistemas reales más complejos.

Museo virtual

Es una entidad digital basada en las características que definen a un museo, o una parte de un museo, y caracterizada por el uso de medios informáticos para mostrar, preservar, estudiar, reconstruir y divulgar el patrimonio material o inmaterial de la humanidad (fuerza y estímulo para el desarrollo cultural).

Nanotecnología

Ciencia que trata de estudiar la manipulación de la materia a escala atómica molecular o macromolecular, para obtener una comprensión de los fenómenos fundamentales y materiales en la nanoescala, y crear y utilizar estructuras, dispositivos y sistemas con nuevas propiedades y funciones originadas por su tamaño.

Nueva Ola

New Wave, también conocida por *New Thing* (en inglés *Nueva Cosa*), es una corriente literaria dentro de la ciencia ficción surgida durante los 60 y que duró hasta los 70.

NURBS

B-splines racionales no uniformes o *NURBS* es un modelo matemático muy utilizado en la computación gráfica para generar y representar curvas y superficies.

Obsolescencia programada

Se denomina *obsolescencia programada* u *obsolescencia planificada* a la determinación, la planificación o programación del fin de la vida útil de un producto o servicio de modo que tras un período de tiempo calculado de antemano por el fabricante o por la empresa durante la fase de diseño de dicho producto, este se torne obsoleto, no funcional, inútil o inservible. Su función es hacer pagar al consumidor dos o más veces por medio de productos degradables o, más paladinamente, “productos basura” o de necesaria y continua actualización que generen relaciones de adicción (en términos comerciales, “fidelización”, como en el caso del *software*) que redundan en beneficios económicos sensibles para empresas sin ética.

Op art

El *Op art*, también conocido como optical art y como arte óptico, es un estilo¹ de arte visual que hace uso de ilusiones ópticas.

En las obras de op art el observador participa activamente moviéndose o desplazándose para poder captar el efecto óptico completamente, por lo tanto se puede decir que no existe ningún aspecto emocional en las obras.

Open Source

Software de código abierto (en inglés *open source software* u *OSS*). El *software* cuyo código fuente y otros derechos que normalmente son exclusivos para quienes poseen los derechos de autor, son publicados bajo una licencia de *software* compatible con la *Open Source Definition* o forman parte del dominio público. Esto permite a los usuarios utilizar, cambiar, mejorar el *software* y redistribuirlo, ya sea en su forma modificada o en su forma original. Frecuentemente se desarrolla de manera colaborativa y los resultados se publican en internet. El *software* es el mejor ejemplo del desarrollo del código abierto y se compara con el llamado “*contenido generado por los usuarios*”.

Parallel eyed (Visión de imágenes paralela)

Técnica que consiste en mirar el par estéreo con los ojos enfocados al infinito y conseguir un relieve sin el uso de un visor. Las imágenes paralelas están situadas una junto a otra en el mismo orden que fueron tomadas y no deben de tener más de 10 cm de ancho.

Perspectiva

Arte o técnica que trata de representar uno o varios modelos naturales en una superficie plana, cuidando la posición relativa del sujeto a escala, e intentando reflejar un efecto de profundidad.

Perspectiva anamórfica

Una perspectiva anamórfica es una deformación reversible de una imagen, un efecto perspectivo utilizado en arte que permite que un elemento cobre una forma y proporciones adecuadas siempre y cuando se observe desde un punto de vista preestablecido.

En ocasiones es necesario emplear mecanismos o procesos científicos para mostrar la imagen en sus dimensiones reales.

Protocolismo

Sistema económico, también llamado *mercantilismo* o *capitalismo inicial*, basado principalmente en el intercambio de metales, como el oro y la plata, y que empezó a desarrollarse en la Prehistoria.

Plugins

Un plugin es aquella aplicación que, en un programa informático, añade una funcionalidad adicional o una nueva característica al *software*. En nuestro idioma, por lo tanto, puede nombrarse al plugin como un complemento.

Lo habitual es que el plugin sea ejecutado mediante el *software* principal, con el que interactúa a través de una cierta interfaz. En la actualidad, la mayoría de los programas trabajan con plugins.

Realidad Aumentada

Tecnología derivada de la Realidad Virtual, en inglés *Augmented Reality*, abreviada comúnmente con el acrónimo AR. Es esta una tecnología que complementa la percepción e interacción con el mundo real y que permite al usuario estar en un entorno real aumentado con información adicional generada por el ordenador.

Realidad Virtual

Conocido con el acrónimo RV, es un entorno de escenas u objetos de apariencia real. La acepción más común refiere a un entorno generado mediante tecnología informática, que crea en el usuario la sensación de estar inmerso en él. Dicho entorno es contemplado por el usuario a través normalmente de un dispositivo conocido como gafas o casco de Realidad Virtual. Este puede ir acompañado de otros dispositivos, como guantes o trajes especiales, que permiten una mayor interacción con el entorno así como la percepción de diferentes estímulos que intensifican la sensación de realidad.

Sentido de la vista

Es un receptor externo conectado a un complejo sistema nervioso, que permite realizar sus funciones de forma adecuada y coordinada con el resto de los sentidos.

SIRDS

Este Acrónimo proviene de *Single Image Random Dot Stereogram*. Es un estereograma de imagen simple construida a través de un sistema informático capaz de formar una estructura de puntos aleatorios; por medio de estos puntos se camuflan imágenes que pueden ser vistas con mucha profundidad.

SIS

Corresponde a la denominación *Single Image Stereograms*. Es un estereograma muy común, aunque los puntos son más complejos de generar, emplea el mismo algoritmo básico. El Resultado es una imagen con pequeños tiles (azulejos) ligeramente modificados.

Spatial augmented reality

La *Realidad Aumentada espacial* (SAR) hace uso de proyectores digitales para mostrar información gráfica sobre los objetos físicos. La diferencia clave es que la pantalla está separada de los usuarios del sistema.

Un sistema de proyección permite incorporar más proyectores para ampliar el área de visualización. Los dispositivos portátiles tienen una pequeña ventana al mundo para representar la información virtual, en cambio en un sistema SAR puedes mostrar un mayor número de superficies virtuales a la vez en un entorno interior. Es una herramienta útil para el diseño, ya que permite visualizar una realidad que es tangible de forma pasiva.

Spatial Optical See-through display

En español significa *displays espaciales ópticos*, y consta de unos videoproyectores que son instalados en el mismo lugar. Estos videoproyectores necesitan un proceso de calibrado previo para que puedan generar los gráficos sobre el objeto.

TED Talks

TED Tecnología, Entretenimiento, Diseño (en inglés: *Technology, Entertainment, Design*) es una organización sin fines de lucro dedicada a las "Ideas dignas de difundir" (del inglés: Ideas worth spreading). TED es ampliamente conocida por su congreso anual (TED Conference) y sus charlas (TED Talks) que cubren un amplio espectro de temas que incluyen ciencias, arte y diseño, política, educación, cultura, negocios, asuntos globales, tecnología y desarrollo, y entretenimiento.

Texture mapping

El mapeado de texturas (en inglés *Texture mapping*) es un método para añadir detalles, colores o texturas exteriores a un gráfico generado por ordenador o un modelo 3D.

Video mapping

Técnica que permite experimentar con las superficies de proyección, el objeto sobre el que es proyectado, se hace mediática al incorporar una capa virtual y se vuelve dinámica y cambiante, adquiriendo una nueva significación en el espacio.

Virtual Reality Modeling Language (VRML)

VRML (sigla del inglés *Virtual Reality Modeling Language*. “Lenguaje para Modelado de Realidad Virtual”) - formato de archivo normalizado que tiene como objetivo la representación de escenas u objetos interactivos tridimensionales; diseñado particularmente para su empleo en la web. Se usa por medio de comandos en inglés, los cuales agregan y determinan las características.

Visión binocular

Es el tipo de visión en que los dos ojos se utilizan conjuntamente. La palabra *binocular* proviene de dos raíces latinas, “*bini*” doble, y “*oculus*” ojo.

Volumetric Displays

Un *dispositivo holográfico* (*holographic display* en inglés) es aquel que utiliza los principios de la holografía para la reproducción de imágenes tridimensionales o pseudotrídimensionales. Se suele confundir con la pirámide holográfica, considerada como un sistema tecnológico compuesta por una pantalla de vidrio y un proyector de vídeo.

Wiggle

Combinación de dos imágenes captadas desde ángulos ligeramente distintos que se mueven alternativamente, creando el efecto de dimensionalidad.

World Web Wide

La *World Wide Web* (WWW) o *red informática mundial* es un sistema de distribución de documentos de hipertexto o hipermedios interconectados y accesibles vía Internet. Con un navegador web, un usuario visualiza sitios web compuestos de páginas web que pueden contener texto, imágenes, vídeos u otros contenidos multimedia, y navega a través de esas páginas usando hiperenlaces.

